

RITA DE CÁSSIA AVELLANEDA GUIMARÃES

**SEMENTES DE GERGELIM (*Sesamum indicum* L.) E LINHAÇA  
(*Linum usitatissimum*) NA DIETA DE RATOS WISTAR: EFEITO DO  
ÓLEO NOS LIPÍDIOS SÉRICOS E GLICOSE.**

Campo Grande-MS  
2012

RITA DE CÁSSIA AVELLANEDA GUIMARÃES

**SEMENTES DE GERGELIM (*Sesamum indicum* L.) E LINHAÇA  
(*Linum usitatissimum*) NA DIETA DE RATOS WISTAR: EFEITO DO  
ÓLEO NOS LIPÍDIOS SÉRICOS E GLICOSE.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saúde e Desenvolvimento na Região Centro-Oeste, área de concentração, Metabolismo e Nutrição, para obtenção do título de Doutor pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).

Orientadora: Prof. Dra. Priscila Aiko Hiane  
Co-orientadora: Prof. Dra. Maria Ligia Rodrigues Macedo

Campo Grande-MS  
2012

## AGRADECIMENTOS

A **Deus** por toda proteção, luz e permissão de viver esta jornada.

A minha sábia, admirável e experiente orientadora, **prof. Dra. Priscila Aiko Hiane**, por ser minha mãe científica, por ter me acolhido, acreditado em mim em todos os momentos e me transmitir todo seu amor, carinho e dedicação pela pesquisa.

A minha co-orientadora **prof. Dra. Maria Ligia Rodrigues Macedo** por ter me mostrado que “bom” nunca é o bastante e que desafios existem para serem vencidos.

Aos meus queridos amigos, a quem devo todo o apoio em minha caminhada e onde a amizade trouxe alegria, conforto e que fazem parte de minha vida: **Osmar, Márcio, Magalli, Maurício, Sidnei, Vera, Elaine e Evelyn**.

A minha querida amiga, **Cláudia Leite Munhoz** onde levarei todo o carinho para minha vida.

Ao **prof. Dr. José Antônio Braga Neto** por orientar-me no projeto de pesquisa e acompanhar-me em minha vida acadêmica, e a **prof. Dra. Maria Isabel Lima Ramos**, por ter “estendido-me a mão” no momento em que mais precisei.

Ao **prof. Dr. Luiz Henrique Viana** pela imensa colaboração em meu trabalho e ao **prof. Dr. Wander Filiu**, pela participação e atenção constante em minha pesquisa.

Ao **Programa de Pós Graduação em Saúde e Desenvolvimento na Região Centro-Oeste da UFMS** por ter acreditado em meu ideal de pesquisa, concedido uma bolsa de estudos (CAPES) e auxiliar-me na atualização constante de meu conhecimento.

A todos os **funcionários do Biotério Central da UFMS** pela a colaboração em meu experimento.

A todos os meus **queridos amigos** que participaram desta caminhada e incentivaram-me em todos os momentos.

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus queridos pais, **Wilson Guimarães, Nívea Mary Avellaneda Guimarães** e a minha irmã, **Maria Cláudia Avellaneda Guimarães Sales**, pelo seu amor incondicional.

Ao meu querido avô materno, **Anacleto Avellaneda**.

A minha querida avó materna, **Wanda Dias Avellaneda** (*in memorian*).

Aos meus queridos avós paternos, **Petrina Alves Guimarães** e **Vitor Guimarães** (*in memorian*).

## LISTA DE TABELAS

### 2. REVISÃO DE LITERATURA

Tabela 1- Comparação de nutrientes da linhaça marrom e dourada ..... 22

#### Capítulo 2 SESAME AND FLAXSEED OIL: NUTRITION QUALITY AND EFFECTS ON SERUM LIPIDS AND GLUCOSE IN RATS

Tabela 1- Fatty acid content (mean  $\pm$  sd) of sesame oil and flaxseed oil ..... 50

Tabela 2- Evaluation of sesame and flaxseed oil by nutritional indexes..... 53

Tabela 3- Physicochemical characteristics (mean  $\pm$  sd) of sesame oil and flaxseed oil ..... 54

Tabela 4- Mean weight gain, food intake and feed efficiency (mean  $\pm$  sd; n=6) in rats fed experimental diets based on different fat sources for 45 days..... 56

Tabela 5- Mean values (mean  $\pm$  sd; n=10) for blood parameters (in mg.dL<sup>-1</sup>) in rats receiving diets with different fat composition for 45 days..... 57

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1- Sementes de gergelim ( <i>Sesamum indicum</i> L.) .....          | 18 |
| Figura 2- Sementes do linho ( <i>Linum usitatissimum</i> ) - linhaça ..... | 20 |
| Figura 3- Estrutura química do ácido graxo ômega-3 e ômega-6.....          | 24 |
| Figura 4- Vias metabólicas dos ácidos graxos ômega-3 e ômega-6 .....       | 26 |
| Figura 5- Resposta anti-inflamatória do EPA .....                          | 29 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA = Ácido graxo araquidônico;

ADGL = ácido dihomogama-linolênico;

AGL = ácido gama-linolênico;

AGM = Ácido graxo monoinsaturado;

AGPI = Ácido graxo polinsaturado;

AGS = Ácido graxo saturado;

ALA = Ácido alfa-linolênico;

COX = Cicloxigenases;

dL = Decilitros;

DHA = Ácido docosahexaenóico;

EPA = Ácido eicosapentaenóico;

g = Gramas;

II = Índice de Iodo;

IS = Índice de Saponificação;

kcal = Quilocalorias;

kg = Quilograma;

LOX = Lipoxigenases;

LT = Leucotrienos;

mg = Miligramas;

mm = Milímetros;

min = Minutos;

mL = Mililitros;

PG = Protaglandinas;

p/p = Peso/peso;

P/S = Polinsaturados/Saturados;

PUFA = Ácido Graxo Polinsaturado/Polyunsaturated Fatty Acid;

SM = Síndrome metabólica;

TX = Tromboxanos;

$\omega$  = Ômega;

% = Porcentagem;

°C = Graus Celsius

$\mu\text{m}$  = Micrometros;

n = Posição das ligações da cadeia carbônica.

## RESUMO

**Guimarães, RCA. Sementes de gergelim (*Sesamum indicum* L.) e linhaça (*Linum usitatissimum*) na dieta de ratos Wistar: Efeito do óleo nos lipídios séricos e glicose.** Campo Grande; 2012. [Tese – Programa de Pós Graduação em Saúde e Desenvolvimento na Região Centro-Oeste da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul].

Neste trabalho objetivou-se avaliar em dietas de animais, o efeito do óleo de linhaça e gergelim e gordura animal sobre lipídios séricos e glicose, bem como efetuar a caracterização deste nutriente. Para caracterização do óleo e formulação de rações, foram utilizadas sementes de linhaça marrom e de gergelim, obtidas comercialmente em Campo Grande (MS). As sementes foram trituradas, tamisadas e desengorduradas, posteriormente, para determinação do teor de lipídios totais e obtenção da fração lipídica. Para análise da composição de ácidos graxos, o óleo extraído foi submetido à saponificação, seguida de esterificação. A análise dos ésteres metílicos de ácidos graxos foi realizada em cromatógrafo gasoso com detector de ionização em chama. O índice de refração foi obtido por leitura em refratômetro de Abbé. Índices de iodo e saponificação foram determinados nas amostras de óleos. A qualidade nutricional da fração lipídica foi avaliada através do Índice de Aterogenicidade, Índice de Trombogenicidade e razão entre ácidos graxos Hipocolesterolêmicos e Hipercolesterolêmicos. No ensaio biológico, ratos (*Rattus norvegicus*) da linhagem Wistar recém desmamados, pesando  $79.49 \pm 0.50$  g, foram separados em 8 grupos experimentais com 6 animais, os quais receberam dietas modificadas quanto à fonte lipídica (óleo de linhaça, óleo de gergelim e gordura animal (banha de porco)) e ração comercial. Os animais foram identificados em: Grupo que recebeu ração comercial:  $G_C$ ; Grupo gordura animal:  $G_A$ ; Grupo óleo de linhaça:  $G_L$ ; Grupo gordura animal + óleo de linhaça:  $G_{AL}$ ; Grupo óleo de gergelim:  $G_G$ ; Grupo gordura animal + óleo de gergelim:  $G_{AG}$ ; Grupo óleo de linhaça e óleo de gergelim:  $G_{LG}$ ; Grupo gordura animal + óleo de linhaça + óleo de gergelim:  $G_{ALG}$ . A determinação de colesterol total e frações, triglicerídeos e glicose foi realizada no soro dos animais utilizando método colorimétrico-enzimático. Dados foram tratados utilizando análise de variância, seguido de teste de Tukey. Níveis de significância,  $p < 0,05$  foram analisados por ANOVA de uma via. No perfil de ácidos graxos, para o óleo de gergelim foram encontrados ácidos graxos saturados, como o láurico (14,6%) e o palmítico (7,5%); ácidos graxos monoinsaturados, como o oléico (28,6%), e polinsaturados, como o ácido linoléico (28,4%). No óleo de linhaça foram encontrados o ácido oleico com 17,97%, o linoleico, 12,25% e o ácido alfa-linolênico, 39,90%. Valores de índice de iodo e de saponificação mostraram-se dentro da normalidade. No ensaio biológico, nas três primeiras semanas, observou-se ganho de peso superior dos animais alimentados com dietas experimentais, quando comparados ao grupo que ingeriu ração comercial. Valores de colesterol total para o Grupo  $G_F$  diferiram significativamente em relação aos demais, apresentando menor nível de colesterol sérico. Níveis de HDL-colesterol dos animais que receberam rações experimentais  $G_C$ ,  $G_F$ ,  $G_{AS}$  e  $G_{AFS}$  obtiveram alterações significativas. Níveis de LDL-colesterol foram significativos entre os Grupos  $G_A$  e  $G_{AFS}$ . Níveis de VLDL-colesterol reportaram-se diferentes entre os Grupos  $G_C$ ,  $G_{AF}$  e  $G_{AFS}$ , sendo o Grupo  $G_{AF}$ , aquele que obteve nível superior de VLDL quando comparado aos demais. No presente estudo, ratos alimentados com óleo de linhaça (Grupo  $G_F$ ), obtiveram valores para HDL superiores ao relatado para os demais grupos, e para LDL e VLDL, inferiores. Para o Grupo  $G_{AF}$ , o nível de triglicerídeos observado foi superior aos demais. Os Grupos  $G_C$  e  $G_A$  obtiveram menores valores para triglicerídeos.

Palavras-chave: Oleaginosas; ensaio biológico; colesterol total, frações de colesterol, triglicerídeos; composição em ácidos graxos; ácidos graxos polinsaturados.

## ABSTRACT

**Guimarães, RCA. Sesame seeds (*Sesamum indicum* L.) and linseed (*Linum usitatissimum*) in the diet of Wistar rats: Effect of oil on serum lipids and glucose.** Campo Grande; 2012. [Tese – Programa de Pós Graduação em Saúde e Desenvolvimento na Região Centro-Oeste da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul].

This work aimed to assess the diets of animals, the effect of flaxseed, sesame oil and animal fat on serum lipids and glucose, as well as to characterize this nutrient. For characterization of the oil and feed formulation were used brown flaxseeds and sesame, obtained commercially in Campo Grande (MS). Seeds were crushed, tamised, and defatted to obtain the lipid fraction and to determine the total lipid content. For analysis of fatty acid composition, the oil extracted was subjected to saponification, followed by esterification. The analysis of methyl esters of fatty acids was performed by gas chromatography with flame ionization detector. The refractive index was obtained by reading the Abbe refractometer. Iodine and saponification indexes was determined in samples of oils. The nutritional quality of the lipid fraction was measured by the Index of Atherogenicity, Thrombogenicity Index and ratio of Hypocholesterolemic and Hypercholesterolemic. In bioassay, rats (*Rattus norvegicus*) Wistar lineage, weighing  $79.49 \pm 0.50$  g were separated into 8 groups with 6 animals, which received modified diets on the lipid source (flaxseed oil, sesame oil and fat animal (lard)) and commercial diet. The animals were identified: Group received commercial diet: G<sub>C</sub>; Group animal fat: G<sub>A</sub>; Group flaxseed oil: G<sub>F</sub>; Group animal fat + flaxseed oil: G<sub>AF</sub>; Group sesame oil: G<sub>S</sub>; Group animal fat oil + Sesame: G<sub>AS</sub>; Group flaxseed oil and sesame oil: G<sub>FS</sub>; Group animal fat + linseed oil + sesame oil: G<sub>AFS</sub>. The determination of total cholesterol and fractions, triglycerides and glucose in animal serum was performed using enzymatic colorimetric method. Data were treated using analysis of variance followed by Tukey test. Significance levels of  $p < 0.05$  were analyzed by one-way ANOVA. In the fatty acid profile for sesame oil were found saturated fatty acids such as lauric (14.6%) and palmitic (7.5%), monounsaturated fatty acids such as oleic (28.6%), and polyunsaturated such as linoleic acid (28.4%). In flaxseed oil, oleic acid were found with 17.97%, linoleic acid, 12.25% and alpha-linolenic acid, 39.90%. Values of iodine and saponification were within normal limits. In the assay, the first three weeks, weight gain observed higher animals fed experimental diets as compared to the group that ingested commercial feed. Total cholesterol values for Group G<sub>F</sub> differed significantly in relation to others, presenting lower serum cholesterol level. HDL-cholesterol levels of animals fed experimental diets G<sub>C</sub>, G<sub>F</sub>, G<sub>AS</sub> and G<sub>AFS</sub> showed significant changes. Levels of LDL-cholesterol were significant between Groups G<sub>A</sub> and G<sub>AFS</sub>. VLDL-cholesterol levels were reported among the different groups G<sub>C</sub>, G<sub>AF</sub> and G<sub>AFS</sub>, being the Group G<sub>AF</sub>, who got the top level of VLDL when compared to others. In this study, rats fed flaxseed oil (Group G<sub>F</sub>), obtained values for HDL higher than reported for the other groups, and LDL and VLDL, lower. For Group G<sub>AF</sub>, the observed triglyceride level was higher than others. Groups G<sub>C</sub> and G<sub>A</sub> had lower values for triglycerides.

**Keywords:** Oilseeds; biological assay; total cholesterol; cholesterol fractions; triglycerides; fatty acid composition; polyunsaturated fatty acids.

## SUMÁRIO

|                                                                                                                   | Páginas |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 1. Capítulo 1 INTRODUÇÃO .....                                                                                    | 12      |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA .....                                                                                    | 14      |
| 2.1 Síndrome metabólica .....                                                                                     | 14      |
| 2.2 Gergelim .....                                                                                                | 16      |
| 2.2.1 Histórico .....                                                                                             | 16      |
| 2.2.2 Importância econômica .....                                                                                 | 17      |
| 2.2.3 Características da semente e do óleo .....                                                                  | 18      |
| 2.3 Linho .....                                                                                                   | 19      |
| 2.3.1 Histórico .....                                                                                             | 19      |
| 2.3.2 Caracterização .....                                                                                        | 20      |
| 2.3.3 Linhaça como alimento funcional .....                                                                       | 22      |
| 2.3.4 Substâncias bioativas presentes na linhaça .....                                                            | 22      |
| 2.4 Beta oxidação e estoque de fosfolípidios .....                                                                | 24      |
| 2.5 Conversão em ácidos graxos ômega-3.....                                                                       | 25      |
| 2.6 Conversão em ácidos graxos ômega-6.....                                                                       | 27      |
| 2.7 Cascata metabólica do ácido graxo araquidônico .....                                                          | 28      |
| 2.8 Balanço lipídico de ômega 3: ômega 6 .....                                                                    | 29      |
| 2.8.1 Balanço lipídico .....                                                                                      | 29      |
| 2.8.2 Recomendação de ingestão ômega 3: ômega-6 na dieta .....                                                    | 30      |
| 2.9 Características químicas de óleos e gorduras.....                                                             | 30      |
| 2.10 Justificativa.....                                                                                           | 31      |
| REFERÊNCIAS.....                                                                                                  | 32      |
| OBJETIVO .....                                                                                                    | 39      |
| Objetivos específicos .....                                                                                       | 39      |
| 3. Capítulo 2 SESAME AND FLAXSEED OIL: NUTRITION QUALITY<br>AND EFFECTS ON SERUM LIPIDS AND GLUCOSE IN RATS ..... | 40      |
| Resumo .....                                                                                                      | 42      |
| Abstract .....                                                                                                    | 43      |
| 1. Introduction .....                                                                                             | 44      |
| 2. Material and methods .....                                                                                     | 46      |

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| 2.1 Oil extraction .....                               | 46 |
| 2.2 Animals and experiment design .....                | 46 |
| 2.3 Serum analysis .....                               | 48 |
| 2.4 Fatty acid composition of seed oils.....           | 48 |
| 2.5 Physicochemical characterization of the oils ..... | 48 |
| 2.6 Nutritional quality index .....                    | 49 |
| 2.7 Statystical analysis .....                         | 49 |
| 3. Results and discussion .....                        | 50 |
| 3.1 Fatty acid composition.....                        | 50 |
| 3.2 Nutritional quality indexes.....                   | 52 |
| 3.3 Physicochemical characterization of the oils ..... | 54 |
| 3.4 Weight evolution .....                             | 55 |
| 3.5 Blood parameters .....                             | 56 |
| 4. Conclusion.....                                     | 61 |
| Acknowledgements .....                                 | 62 |
| 5. References .....                                    | 62 |
| Anexos .....                                           | 72 |

## Capítulo 1 **INTRODUÇÃO**

Dislipidemias são caracterizadas pelo desvio anormal no valor de uma ou mais frações do plasma sanguíneo, sendo distúrbios no transporte de lipídios que resultam em anormalidades metabólicas que alteram as concentrações de lipoproteínas na circulação. Os ácidos graxos ausentes são denominados essenciais como, os ácidos linolênico e linoleico (polinsaturados). Os tecidos em geral, são capazes de sintetizar a maioria dos ácidos graxos saturados e insaturados, no entanto não podem produzir ácidos graxos insaturados da série do ácido linoleico e linolênico (DOUGLAS, 2006).

Dentre os diversos fatores relacionados a dislipidemias, as doenças cardiovasculares são responsáveis por impacto expressivo na mortalidade da população brasileira, correspondendo a 32% de óbitos em 2005, por exemplo, o equivalente a 267.496 mortes/ano (WHO, 2005; BRASIL, 2011). A Síndrome Metabólica (SM) é um exemplo de transtorno cardio-circulatório representado por um conjunto de fatores de risco cardiovasculares relacionados à deposição central de gordura e à resistência à insulina (LIESE, MAYER-DAVIS & HAFFNER, 2008; REILLY & RADER, 2008).

Há muito tempo se conhece os efeitos do consumo de determinados nutrientes sobre os lipídios plasmáticos, associando-se a ingestão elevada de alimentos calóricos e com elevado teor de gordura saturada, sobre fatores que elevam os riscos de doença no coração (SPINELLI, 2004).

Alguns nutrientes exercem efeitos protetores quando consumidos a longo prazo, sendo evidenciados em estudos experimentais, os quais elucidam resultados consistentes até o momento, e que influenciam nas concentrações plasmáticas de triglicérides, colesterol total e frações, como é o caso dos óleos polinsaturados (CUPPARI, 2011).

Os ácidos graxos polinsaturados (PUFA) podem ser divididos em três grandes famílias: ácidos graxos ômega 3 ( $\omega$ -3), ômega ( $\omega$ -6) e ômega 9 ( $\omega$ -9), com base na localização das duplas ligações (APPOLINÁRIO et al., 2011).

A ingestão de PUFA através de fontes alimentares é importante e estimulado pelos profissionais da saúde, uma vez que as gorduras referentes aos grupos  $\omega$ -6 e  $\omega$ -3 afetam funções imunológicas e inflamatórias através de produtos do metabolismo do ácido graxo araquidônico (LEHNINGER, NELSON & COX, 2011).

No controle de colesterol e triglicerídeos, é enfatizado em dietas saudáveis o consumo regular de grãos, cereais, legumes, vegetais, frutas, carnes magras, aves, peixes e laticínios pobres em gorduras (MCARDLE, KATCH & KATCH, 2007). Dentre estes alimentos recomendados está a semente de linhaça e gergelim.

O linho (*Linum usitatissimum*) é uma planta pertencente à família das Linaceas, sendo sua semente, denominada, linhaça, que se caracteriza por ser chata e oval (SAMMOUR, 2007). Esta oleaginosa apresenta compostos tanto de ação antioxidante, quanto hipolipidêmica (PRASAD, 2007).

No consumo de grãos está também o gergelim (*Sesamum indicum* L.), uma planta pertencente à família Pedaliaceae, cultivada tanto em países tropicais quanto subtropicais, sendo a nona oleaginosa mais cultivada no mundo (ARRIEL, VIEIRA & FIRMINO, 2005). A composição média da semente contém cerca de 50% de lipídios de excelente qualidade, semelhante ao óleo de oliva, que pode ser usado nas indústrias alimentícias e químicas. Os lipídios são ricos em ácidos graxos insaturados, como linoleico e oleico (MORISE, 2006).

Sob o ponto de vista tecnológico e de nutrição, a qualidade de um alimento *in natura* ou processado, de origem animal ou vegetal é definida pela sua composição, suas propriedades nutricionais e suas propriedades funcionais. A composição é caracterizada pelas quantidades ou proporções de seus vários componentes; as propriedades nutricionais pela sua riqueza em nutrientes essenciais, pela biodisponibilidade de nutrientes e pela ausência de substâncias tóxicas e/ou antinutricionais; e as funcionais pelas características do alimento que influenciam a sua aplicação tecnológica (SGARBIERI, 1996).

A importância desse trabalho foi avaliar em dietas de animais de experimentação, o efeito do óleo de linhaça, de gergelim e gordura animal sobre os lipídios séricos e glicose, bem como caracterizar físico-química e nutricionalmente esse nutriente nas duas sementes comestíveis.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Síndrome metabólica

A Síndrome Metabólica (SM) é caracterizada pelo conjunto de fatores de risco associados com um risco aumentado de doenças cardiovasculares e diabetes tipo 2. Geralmente nela, inclui-se obesidade abdominal, hipertensão arterial sistêmica e resistência à insulina, resultando em metabolismo da glicose prejudicado, e dislipidemia (LIBEROPOULOS, MIKHAILIDIS & ELISA, 2008). Diversos fatores etiológicos estão envolvidos no desenvolvimento da SM ao longo da vida, incluindo predisposição genética e estilo de vida. Dieta desequilibrada e inatividade física são fatores ambientais que podem pré-dispor o desenvolvimento da SM (OLIVEIRA et al., 2004).

A Organização Mundial de Saúde (OMS) definiu em 2004, os fatores de riscos da Síndrome Metabólica, dos quais contaram com diagnóstico de Diabetes Mellitus tipo 2, glicemia de jejum alterada, intolerância a glicose ou resistência à insulina, bem como fatores de risco adicionais, inatividade física, estresse, tabagismo, alcoolismo, maus hábitos alimentares ao longo do tempo...

A composição lipídica da dieta reflete no comportamento e metabolismo dos lipídios séricos, como colesterol total e frações, ou seja, dietas com elevados teores de ácidos graxos saturados promovem início de uma possível dislipidemia. Estudos indicam que, a composição de lipídios séricos pode ser usada como um biomarcador para se mensurar a qualidade da gordura, mas também como um indicador para se verificar a pré-disposição de doenças crônicas, já que composição alterada de ácidos graxos séricos tem sido relacionada à maior incidência de transtornos metabólicos e doenças coronarianas (BRASIL, 2011).

Elevadas concentrações de ácido palmítico (16:0), baixas concentrações de ácido linoleico (18:2n-6) em lipídios plasmáticos, elevadas concentrações proporcionalmente maior de ácido palmitoleico (16:1n-7) e ácido dihomo- $\gamma$ -linolênico (20:3n-6) são características de pessoas com ácidos graxos alterados (WARENSJÖ et al., 2006).

Fatores nutricionais, incluindo energia em excesso, ingestão elevada de carboidratos simples e gordura saturada são indicativos de sobrepeso e obesidade,

posteriormente. O aumento do consumo de gordura na dieta é associado com o risco a obesidade e objeto de vários estudos (BRASIL, 2003).

Alguns estudos propoem que dietas ricas em gordura podem levar a obesidade, já que a gordura é um macronutriente que apresenta maior densidade energética (9 kcal) (SHAI et al., 2009).

Ao comparar a evolução do consumo deste nutriente pela humanidade entre o período Paleolítico e a dieta atual, verificou-se uma alimentação rica em proteínas de origem animal, oriunda da caça selvagem naquele período, para uma dieta rica em proteína de origem animal contendo maior teor de gordura por quilo de peso. A gordura de animais selvagens era rica em ácidos graxos polinsaturados (PUFA), e continha um teor apreciável de  $\omega$ -3 (4%). Atualmente, carne bovina contém quantidades indetectáveis deste tipo de ácido graxo (MOUSSAVI, GAVINO & RECEVEUR, 2010).

Em trabalho realizado por Appolinário e colaboradores (2011), comparou-se a ingestão dietética de indivíduos que receberam alimentos fontes de ácidos graxos monoinsaturados (AGM) e daqueles que receberam alimentos fontes de ácidos graxos saturados (AGS). Os resultados evidenciaram diminuição na deposição de gordura abdominal do grupo que recebeu dieta rica em AGM. Por outro lado, outros estudos não elucidaram diferença entre os grupos que consumiram dietas isocalóricas quando administrado a gordura do abacate, por exemplo, e ácidos graxos derivados de gorduras *trans*. Estudos epidemiológicos evidenciaram uma associação positiva entre o consumo de PUFA, AGM, AGS e o risco de obesidade (HOLLANDER et al., 2009). No entanto, outros pesquisadores não encontraram qualquer relação entre o consumo de PUFA, AGM ou AGS e o risco aumentado a obesidade. Resultados de estudos epidemiológicos ainda são muito controversos quando se considera a associação entre os diferentes tipos de ácidos graxos e o aumento de peso (WARENSJÖ et al., 2006).

Ácidos graxos de cadeia longa, n-3 e n-6 apresentam maior poder de oxidação em relação aos ácidos graxos saturados, pelo maior número de insaturações e oxigênio na cadeia carbônica, no entanto, quando ingeridos e metabolizados apresentam maior efeito termogênico e melhor estimulação do sistema nervoso central (COLAS et al., 2011). Alguns estudos reportaram que o ácido linoleico (n-6), quando comparado ao óleo de cártamo (*Carthamus tinctorius*),

na carcaça de ratos, apresentou maior teor de gordura e menor atividade do sistema nervoso, bem como baixa indução a termogênese (GUICHARDANT et al., 2011).

Os PUFAs encontrados nos óleos de peixes também podem diminuir o ganho de massa gorda e aumentar a perda de peso, quando testados em roedores. Madsen et al. (2010) verificaram que ratos que consumiram PUFAs n-3, induziram um controle mais efetivo dos receptores de ativação da proliferação de peroxissomos (PPAR- $\alpha$  e  $\gamma$ ) sobre os genes envolvidos no metabolismo de gorduras do que os PUFAs (n-6).

Ailhaud et al. (2009) reportaram que a inclusão de ácido  $\alpha$ -linolênico em uma dieta isocalórica enriquecida em ácido linoleico reduziu o aumento de massa gorda em um grupo de filhotes de ratos. Estes autores destacam que tais dados foram consistentes com resultados obtidos anteriormente *in vitro*, onde comparou-se o efeito adipogênico de n-6 PUFA em relação a n-3 PUFA.

Outros autores evidenciaram que, quanto maior ingestão da relação n-3/n-6, ocorre um aumento de peroxissomos e mitocôndrias oriundos da beta-oxidação em roedores, devido a um aumento da atividade carnitina aciltransferase I (MOUSSAVI, GAVINO & RECEVEUR, 2010). Tal fato gerou redução significativa em parâmetros de colesterol total e frações.

Demais estudos também verificaram que a oxidação de gordura é maior com o aumento da ingestão de polinsaturados/ saturados (P/S). A explicação relatada pelos autores foi que a morfologia das vilosidades do jejuno e íleo de roedores era afetada pela relação de P/S na dieta, observando-se captação aumentada das vilosidades com uma dieta rica em ácidos graxos polinsaturados (STIENSTRA et al., 2010).

## **2.2 Gergelim**

### **2.2.1 Histórico**

O gergelim (*Sesamum indicum* L.), espécie pertencente a família Pedaliacea, é uma das oleaginosas mais antigas quanto à utilização pela humanidade, havendo registros de seu cultivo há mais de 4300 anos a.C., em países do Oriente Médio, Egito, Irã, Índia e China, sendo os portugueses posteriormente que introduziram a espécie no novo continente (ELLEUCH et al., 2007).

Na Assíria, em 750 a.C., o óleo de gergelim foi tão importante que era considerado “moeda” ao lado da prata. No século XVI foi introduzido pelos portugueses no Brasil (BELTRÃO & VIEIRA, 2002).

### 2.2.2 Importância econômica

O gergelim ou sésamo é entre as oleaginosas, uma das culturas mais antigas e vem sendo cultivado na Índia, há muitos séculos. Dentre os nomes populares, também é conhecido como gergelim-preto (quando apresentado na coloração mais escurecida), girgelim, jexelim e zirzelim. Além da espécie *S. indicum* L., o gergelim ainda pode ser encontrado nas espécies, *Sesamum alatum*, *Sesamum capene*, *Sesamum laciniatum*, *Sesamum angolense*, *Ceratotheca sesamoides*, *Sesamum radiatum*, *Sesamum schrenckii*, dentre outros (BELTRÃO & VIEIRA, 2002).

O cultivo desta oleaginosa apresenta grande potencial econômico devido às possibilidades de exploração tanto em mercado nacional quanto internacional, visto que suas sementes apresentam em torno de 50% de óleo (YASUMOTO et al., 2001).

O gergelim é adaptado às condições semi-áridas de diversas partes do mundo. Na indústria alimentícia é utilizado principalmente na panificação, na indústria de biscoitos, bolos, doces e margarina. A torta, resíduo resultante da prensagem das sementes, apresenta elevados teores de vitaminas hidrossolúveis e alta concentração de aminoácidos, podendo ser aplicada ainda na alimentação humana (RESHMA et al., 2010).

A área plantada com gergelim no mundo é de 6 milhões de hectares, sendo que seu mercado mundial está em plena ascensão devido à elevada empregabilidade na indústria alimentícia, cosméticos e fármacos (BARRACHINA et al., 2009).

O Brasil produz em média 13 mil toneladas em uma área de 22 mil hectares e rendimento em torno de 591 kg/ha. A partir de 1989/90, a importância econômica do gergelim cresceu gradativamente e, a medida que foram descobertas novas fontes de aproveitamento do grão e de seus subprodutos, o gergelim destacou-se em um mercado sempre crescente. Para atender a este crescente mercado, o Brasil passou a importar gergelim (BELTRÃO & VIEIRA, 2002).

Nas regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste, esta oleaginosa é parte do consumo popular da classe de baixa renda, apresentando-se como importante opção, por se constituir em mais uma alternativa para os pequenos e médios produtores. A partir de 1986, nos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba foram estruturados projetos de fomento a pesquisa com objetivo de oferecer ao produtor nordestino, outra opção de cultivo que melhorasse seu padrão alimentar, proporcionando renda adicional. Em Mato Grosso, o cultivo desta semente faz do Estado, o segundo maior produtor no Brasil (BELTRÃO & VIEIRA, 2002).

### 2.2.3 Características da semente e do óleo

Na semente de gergelim (Figura 1), o conteúdo de óleo e proteína pode variar amplamente: 41 a 63% e de 17 a 32% respectivamente, dependendo da variedade e origem da semente (BISMAS et al., 2002).



Figura 1 - Sementes de gergelim (*Sesamum indicum* L.)

Apesar do elevado conteúdo de óleo da semente (em torno de 55%) e de sua elevada estabilidade oxidativa, trata-se de um óleo comestível, onde seu uso é aplicado em produção como óleo tipo *gourmet*, sendo outrora adicionado a margarinas, óleos de salada e fritura. Quando torrado, é indispensável na culinária chinesa, coreana e japonesa, em razão de seu *flavour* (OJIAKO et al., 2010).

O óleo de gergelim proveniente da semente torrada e não torrada é utilizado também para fins farmacêuticos, especialmente na medicina oriental devido suas propriedades antioxidantes (TOKUSOGLU et al., 2003).

O óleo de gergelim possui *flavour* característico e agradável e maior estabilidade oxidativa, quando comparado a maioria dos óleos vegetais, devido sua composição em ácidos graxos e pela presença de antioxidantes naturais, sesamolina, sesamina, sesamol e gama tocoferol. Na composição de ácidos graxos, o teor de ácidos graxos saturados gira em torno de 14%, sendo semelhante ao óleo de soja e milho, verificando-se o mesmo para os ácidos oleico e linoleico (YASUMOTO et al., 2001; AKBULUT & ÇOKLAR, 2008).

## **2.3 Linho**

### **2.3.1 Histórico**

O linho (*Linum usitatissimum*) foi uma das primeiras plantas domesticadas pelo homem. Registros históricos mostram que possivelmente o cultivo do linho iniciou-se em 8000 a.C. na região da Síria, Turquia e Irã. Em 5000 a.C., os egípcios confeccionavam roupas de linho artesanalmente, no entanto, a fabricação dos primeiros tecidos de linho foi consolidada em 1400 a.C. (OOMAH & MAZZA, 1993).

Os efeitos característicos de sua semente, laxantes e emolientes (formulações semi-sólidas e viscosas as quais apresentam combinações com água e óleo, auxiliando na hidratação e restauração da [pele](#)) eram reconhecidos em 500 a.C. por Hipócrates. No século XX, mais especificamente na década de 90, estudos com as sementes de linhaça emergiram como importante alimento funcional, uma vez que pesquisas intensificaram-se e novas técnicas de cultivo desta oleaginosa desenvolveram-se, ocorrendo maior incentivo em sua produção (OOMAH & MAZZA, 1998).

Dentre os maiores produtores da linhaça estão: Canadá, Estados Unidos, Índia e China e, na América do Sul, destacam-se Argentina e Brasil (PIMENTEL, FRANCKI & GOLLUCKE, 2005).

### 2.3.2 Caracterização

A linhaça é uma semente oleaginosa originada do linho, planta herbácea pertencente à família das Linaceas. Dentre os nomes, popularmente pode ser chamada de linho da terra, linho do inverno, linho galego, linho mourisco, lino e “safira azul,” devido a coloração azulada de suas flores (COSTA & ROSA, 2010). Além da espécie *L. usitatissimum*, o linho também é encontrado nas espécies *Linum lewisii*, *Linum perenne*, *Linum schiedeanum*, *Linum neomexicanum*, *Linum rigidum* e *Linum sulcatum* (TRUCOM, 2006).

O linho apresenta caule ereto e fibroso de onde se extraem as fibras para fabricação de tecidos. Apresenta folhas alongadas e estreitas e flores de cor azul-clara. Os frutos (sementes) apresentam-se sob forma de cápsulas esféricas, chamadas, “cachopas,” que contêm duas sementes em cada um dos cinco compartimentos, totalizando aproximadamente 10 sementes por cápsula (MUIR & WESTCOTT, 2005).

As sementes são ovaladas, com uma das extremidades pontiagudas apresentando textura lisa e brilhante e sabor agradável, semelhante ao de nozes (Figura 2). São pouco maiores do que as sementes de gergelim podendo haver variações em seu comprimento (4,27 – 4,64 mm), na largura (2,22 – 2,38 mm), na espessura (0,85 – 0,88 mm) e no diâmetro, conforme o teor de umidade nas sementes (THOMPSON & CUNNANE, 2006).



Figura 2 - Sementes do linho (*Linum usitatissimum*) – linhaça.

No Brasil, a linhaça é encontrada sob coloração marrom (linhaça marrom) e dourada (linhaça dourada) conforme é observada em sua casca, a qual é definida pela quantidade de pigmentos da camada externa que atuam sob forma de proteção contra a irradiação solar, sendo a pigmentação maior quanto maior for a irradiação (TRUCOM, 2006).

A produção da variedade marrom predomina em países de clima quente e úmido, como o Brasil, por exemplo, apresentando baixo preço comercial, sendo acessível a grande parte da população, mesmo aquela de baixa renda. A variedade dourada, apesar de ser produzida também no Brasil desde 2006, em sua maior parte é importada de países de clima frio, como Canadá e Estados Unidos, sendo vendida a preços mais elevados (SAMMOUR, 2007).

A funcionalidade da linhaça marrom é minimizada em relação à dourada, sendo mais difundida a variedade marrom pois, segundo evidências, possuiria teor de ligninas vegetais menos biodisponíveis, devido sua casca apresentar-se mais endurecida para se adaptar ao clima mais quente e evitar perda de água. No entanto, até o momento não se detêm de resultados que reconheçam tal questão (COSKUNER & KARABABA, 2008).

Estudos realizados no Canadá têm evidenciado que, em termos nutricionais e terapêuticos, ambas variedades apresentam características semelhantes, com discreta vantagem quanto ao teor de ácido graxo alfa-linolênico para a linhaça marrom e, para a linhaça dourada, quanto ao valor de proteínas (Tabela 1). O julgamento favorável à semente dourada dá-se provavelmente ao fato que, no hemisfério Norte é predominante esta oleaginosa de coloração mais clara, sendo a linhaça marrom menos estudada (PRASAD, 2007; BASBAG, TONCER & BASBAG, 2009). Novos estudos comparativos tornam-se, desta forma, necessários a respeito do valor nutricional desta semente.

Tabela 1 - Comparação de nutrientes da linhaça marrom e linhaça dourada.

| Componentes                                | Linhaça Marrom | Linhaça Dourada |
|--------------------------------------------|----------------|-----------------|
|                                            | (g. 100 g)     |                 |
| Umidade                                    | 7,7            | 7,0             |
| Proteínas                                  | 22,3           | 29,2            |
| Lipídios                                   | 44,4           | 43,6            |
| Ácidos graxos saturados                    | 8,7            | 9,0             |
| Ácidos graxos monoinsaturados              | 18,0           | 23,5            |
| Ácidos graxos polinsaturados               |                |                 |
| Ácido graxo alfa-linolênico ( $\omega$ -3) | 58,2           | 59,0            |
| Ácido graxo linoleico ( $\omega$ -6)       | 14,6           | 15,8            |
| Relação $\omega$ 3: $\omega$ 6             | 4,0            | 3,2             |

### 2.3.3 Linhaça como alimento funcional

Indústrias de alimentos e consumidores têm manifestado interesse pelos alimentos funcionais e suas substâncias bioativas, já que tem sido observada a atuação dos mesmos na promoção à saúde e qualidade de vida, uma vez que atuam na redução de doenças crônico-degenerativas, como diabetes, cardiopatias, circulatórias, renais crônicas, cânceres... (WAITZBERG & BORGES, 2010).

Alimento funcional é todo aquele alimento ou componente alimentar que, além de desempenhar funções nutricionais básicas, quando consumido na dieta, produz efeitos metabólicos diários e/ou fisiológicos benéficos à saúde devendo ser seguro para consumo sem supervisão profissional (TURATI, 2002).

A linhaça pode ser considerada um alimento funcional por ser fonte natural de substâncias bioativas fitoquímicas, capazes de atuar sobre o organismo, promovendo melhorias no funcionamento digestivo, controle de glicose e colesterol sanguíneo, além de apresentar funções anti-inflamatórias na redução do risco de acometimento de doenças crônico-degenerativas, através do consumo regular (SPINELLI, 2004).

### 2.3.4 Substâncias bioativas presentes na linhaça

Dentre as substâncias que caracterizam as sementes de linhaça (fibras dietéticas, vitaminas, minerais e outros componentes funcionais), proteínas e lipídios são dois dos nutrientes destacados no presente estudo (ROTHENBURG & PEREIRA, 2006).

A linhaça apresenta considerável conteúdo de proteínas, e representa um alimento com padrão de aminoácidos semelhante ou superior as proteínas da soja, fornecendo de maneira equilibrada, a grande maioria dos aminoácidos essenciais importante para o crescimento, desenvolvimento e manutenção metabólica (ROTHENBURG & PEREIRA, 2006).

Apesar de serem consideradas fibras insolúveis, as ligninas vegetais são quimicamente, compostos fenólicos complexos que se apresentam associados aos carboidratos das paredes celulares de plantas, promovendo rigidez e impermeabilidade à água. As ligninas para serem biodisponíveis precisam estar sob forma de lignanas e além da função antioxidante, podem agir como fitoestrógenos nas terapias de reposição hormonal (WESTCOTT & MUIR, 2010).

A qualidade nutricional dos alimentos está relacionada à sua composição química, e os lipídios fazem parte desta constituição. A proporção entre ácidos graxos saturados, monoinsaturados e polinsaturados exerce influência sobre as características físicas e nutricionais de um alimento, segundo seu perfil lipídico (ROLMAN, 2010).

A inclusão de sementes de linhaça na dieta de vegetarianos torna-se auxiliar importante no suprimento de necessidades proteicas, além de melhorar o equilíbrio entre os ácidos graxos essenciais n-3 e n-6 onde, neste grupo, tende estar desregulado, com elevada proporção n-6 e baixa n-3 (PALMER et al., 2010).

O consumo de sementes oleaginosas, leguminosas e peixes é recomendado pelo fato de que estes alimentos apresentam em sua composição baixo teor de lipídios saturados e um elevado teor de ácidos graxos insaturados (RAMADAN et al., 2010). Os ácidos graxos essenciais (AGE) não podem ser produzidos pelo organismo humano, e desta forma, precisam ser adquiridos na dieta. Os AGE n-3 e n-6 são assim denominados cuja primeira dupla ligação, à partir do grupo metila terminal encontra-se entre respectivamente, o terceiro e o quarto e entre o sexto e sétimo carbono da cadeia lipídica (YANG et al., 2007) (Figura 3).

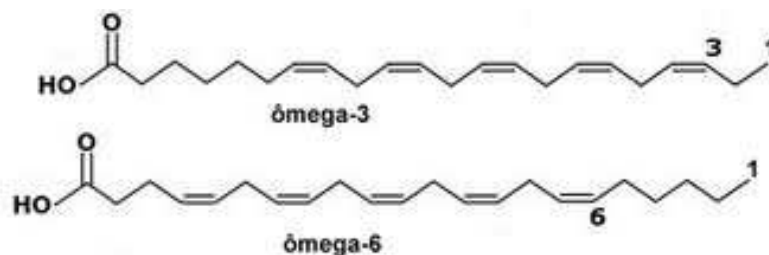


Figura 3. Estrutura química do ácido graxo ômega-3 e ômega-6.  
Fonte: LEHNINGER, NELSON & COX, 2011.

O ácido alfa-linolênico (ALA) (C18:3 n-3) e ácido linoleico (AL) (C18:2 n-6) são AGE que podem passar por bioreações metabólicas de alongamento (aumento de número de carbonos) da cadeia carbônica e por desidrogenação ou dessaturação (aumento do número de duplas ligações), podendo ser alongados as cadeias de pelo menos 20 a 22 carbonos, sendo eles precursores de outros AGE de cadeia longa (YOSHIDA et al., 2008).

O ácido graxo ALA obtido na alimentação pode ser metabolizado de três maneiras (SIMOPOULOS, 2008):

- I- ALA pode sofrer  $\beta$ -oxidação produzindo energia;
- II- ALA pode ser armazenado sob forma de triacilgliceróis (triglicerídios) e fosfolipídios das membranas celulares;
- III- ALA pode ser convertido em ácidos graxos ômega-3 de cadeia longa, como o ácido eicosapentaenóico (EPA) e o ácido docosahexaenóico (DHA).

## 2.4 Beta-oxidação e Estoque de Fosfolipídios

Beta-oxidação é o processo na cadeia carbônica que se dá pela divisão ou quebra de ácidos graxos menores, em dois fragmentos de carbono na forma de acetil-CoA, os quais são metabolizados para produção de energia. O metabolismo do ALA contribui significativamente para esta produção (FLAX PRIMER, 2012).

Fosfolipídios são elementos estruturais das células do corpo humano, assim como celulose e lignina são para as plantas. Todas as células contêm nas membranas, dupla camada de fosfolipídios. Fosfolipídios consistem em ácidos graxos, e tipos de ácidos graxos que existem, refletem naqueles encontrados na alimentação, ou seja, dietas ricas em ácidos graxos saturados resultam em elevado nível de ácidos graxos saturados na membrana; dietas ricas em ácidos graxos

polinsaturados aumentam o nível de ácidos graxos polinsaturados na membrana fosfolipídica. A composição de ácidos graxos na membrana afeta a flexibilidade, transferência de nutrientes na bicamada lipídica (LEHNINGER, NELSON & COX, 2011; FLAX PRIMER, 2012).

## **2.5 Conversão em ácidos graxos ômega-3**

O ácido graxo ALA é convertido em ácido graxo ômega-3 de cadeia longa por uma série alternada de dessaturações e alongamentos. As dessaturações adicionam uma dupla ligação, removendo hidrogênio, enquanto o alongamento adiciona dois átomos de carbono. Os passos de dessaturação tendem a ser lentos, enquanto os passos de alongamento são rápidos. Assim, a concentração tecidual de ácido estearidônico, subproduto do ALA, tende a ser mais baixa, pois é formado lentamente pela dessaturação e então rapidamente alongado para outros metabólitos (LEHNINGER, NELSON & COX, 2011; FLAX PRIMER, 2012).

O ácido graxo ômega-3 é formado a partir da dessaturação e alongamento da ALA, resultando no ácido eicosapentaenóico (EPA) e ácido docosahexaenóico (DHA) (Figura 4).

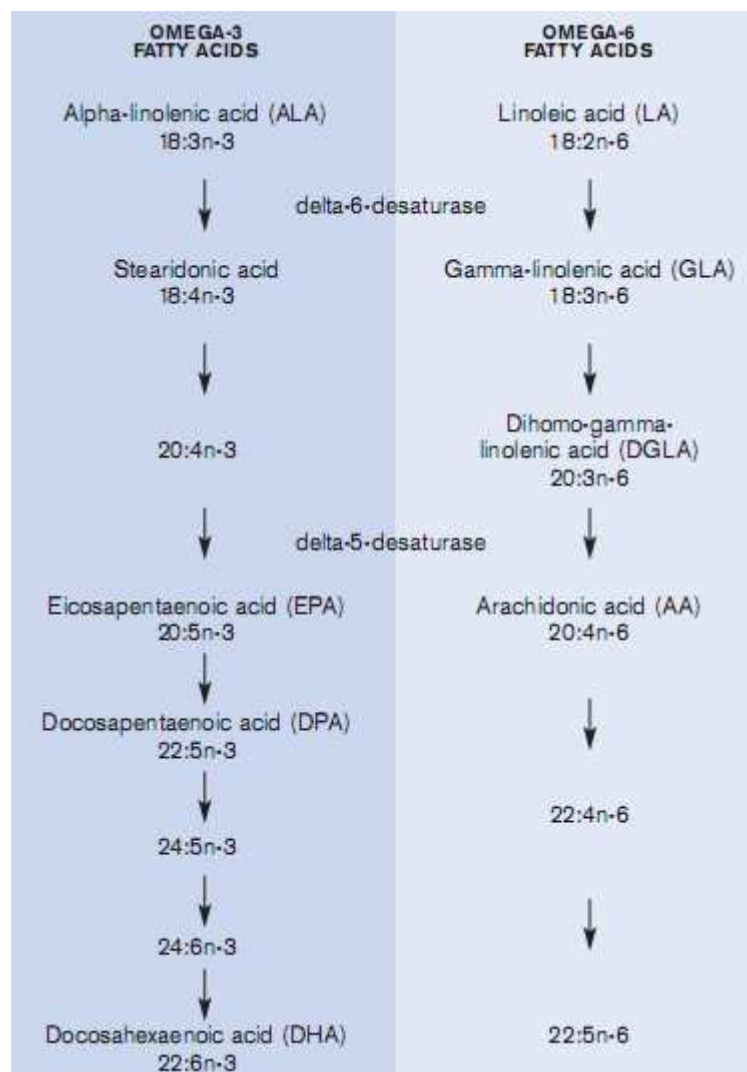


Figura 4 - Vias metabólicas dos ácidos graxos ômega-3 e ômega-6.  
Fonte: FLAX PRIMER, 2012.

A conversão de ALA para metabólitos de cadeia longa é afetada pela dieta. Dieta rica em ácido linoleico, por exemplo, reduz a taxa de conversão de ALA em até 40%, e uma alta ingestão de ácido linoleico durante a gestação diminui os níveis de EPA e DHA no plasma umbilical, sugerindo reduzida conversão ALA e biodisponibilidade de ômega-3 para o feto (KOUBA et al., 2009). Outros fatores que interferem na conversão de ALA incluem a ingestão de colesterol dietético, saturado, ácido oleico, ácidos graxos *trans* e a proporção de polinsaturados e gorduras saturadas na dieta. O elevado consumo de ácidos graxos ômega-3 também pode bloquear a conversão de ALA, possivelmente sinalizando que os níveis de gorduras ômega-3 no tecido são adequados. Por exemplo, uma dieta contendo quantidade maior do que 12 g de ALA por dia pode reduzir a taxa de conversão de ALA (KOUBA et al., 2009; MATTHEWS et al., 2010).

## 2.6 Conversão em ácidos graxos ômega-6

Assim como o metabolismo do ALA, o ácido linoleico é convertido em ácidos graxos de cadeia longa ômega-6 por uma série de dessaturações e alongamentos. Dois ácidos graxos da via ômega-6 devem ser observados. O ácido gama-linolênico (AGL) é separado e distinguido do ácido alfa-linolênico, um ácido graxo ômega-3 essencial. O AGL é convertido em ácido dihomogama-linolênico (ADGL), um precursor dos eicosanóides (Figura 4) (LUSIS, ATTIE & REUE, 2009).

O ácido graxo araquidônico (AA) é precursor de eicosanóides, dos quais promovem a aglomeração (agregação) de plaquetas, coagulação sanguínea e reações inflamatórias. O ácido araquidônico é o ácido graxo mais bem regulado nas membranas fosfolipídicas, pois afeta a maneira como as células se comportam. Quando dietas são ricas em ácidos graxos ômega-6, o ácido araquidônico é produzido em excesso, resultando em um sistema imunológico muito mais ativo que pode contribuir no surgimento de doenças crônicas, como câncer, acidente vascular encefálico, diabetes e doença coronariana (RONTI, LUPATTELLI & MANNARINO, 2007; LUSIS, ATTIE & REUE, 2009).

Eicosanóides controlam as reações inflamatórias e seus efeitos são respostas normais a lesão, e sua cascata é necessária para auxiliar a reparação do tecido lesionado. No entanto, nem todos os eicosanóides são iguais. Os eicosanóides derivados do EPA não tendem a promover a inflamação. Esta é uma razão pela qual é aconselhado aos consumidores ingerir regularmente mais alimentos fontes de ácidos graxos ômega-3. Dieta rica em ácidos graxos ômega-3 produz eicosanóides benéficos e menor resposta inflamatória, diminuindo assim, o risco de doenças crônicas, em comparação com dietas ricas em ácidos graxos ômega-6 (FORTI & DIAMENT, 2007). O ALA é incorporado a membrana fosfolipídica, interferindo na conversão do ácido linoleico em ácido araquidônico, bloqueando a conversão do ácido araquidônico em eicosanóides pró-inflamatórios (SALES et al., 2006).

Dietas ricas em ALA diminuem significativamente a concentração de ácido graxo araquidônico em neutrófilos, e a produção de eicosanóides originários do ácido araquidônico em células mononucleares, são reduzidas 30% em indivíduos saudáveis que consomem óleo de linhaça pelo menos quatro vezes por semana. Neutrófilos e células mononucleares são tipos de células do sistema imunológico

que auxiliam no controle de infecções e inflamações (ADAR & GOLDBOURT, 2011; KRUKOWSKI & WEST, 2012).

## **2.7 Cascata metabólica do ácido graxo araquidônico**

Os PUFA atuam no organismo a partir da produção de mediadores inflamatórios conhecidos como eicosanóides (prostaglandinas (PG), leucotrienos (LT) e tromboxanos (TX)) a partir dos ácidos araquidônicos. O AA normalmente encontra-se esterificado nos fosfolipídios das membranas celulares, ao ser liberado é convertido em prostaciclina, PG (PG A<sub>2</sub>, D<sub>2</sub>, E<sub>2</sub> e F<sub>2</sub>) e TX (TX A<sub>2</sub>) por enzimas cicloxigenases (COX), e em LT (LT A<sub>4</sub>, B<sub>4</sub>, C<sub>4</sub>, D<sub>4</sub> e E<sub>4</sub>) por enzimas lipoxigenases (LOX) (MURPHY & BLOOM, 2007). Esses eicosanóides participam de várias etapas do processo inflamatório, estando em pequenas concentrações em tecidos normais. Em elevadas concentrações, quando há lesões teciduais, contribui para agregação plaquetária e consequentemente formação de trombos e ateromas, além de processos alérgicos e proliferação celular (MURPHY & BLOOM, 2007; THOMSON et al., 2009).

Os ácidos EPA e DHA competem com AA nas vias enzimáticas COX e LOX, reduzindo a formação de mediadores pró-inflamatórios LT da série 4 e TX da série 2 e favorecendo a produção de LT das séries 3 e 5 (TX A<sub>3</sub>, PG G<sub>3</sub> e H<sub>3</sub>, LT B<sub>5</sub>), que apresentam menor potencial inflamatório, com pouco ou nenhuma atividade biológica. Desta forma ocorre inibição da agregação plaquetária e consequentemente melhora da circulação e pressão sanguínea, vasodilatação, além da regulação da frequência cardíaca e resposta imunológica (Figura 5) (COOPER, POLONSKY & SCHOELLER, 2011; ROBINSON et al., 2012)

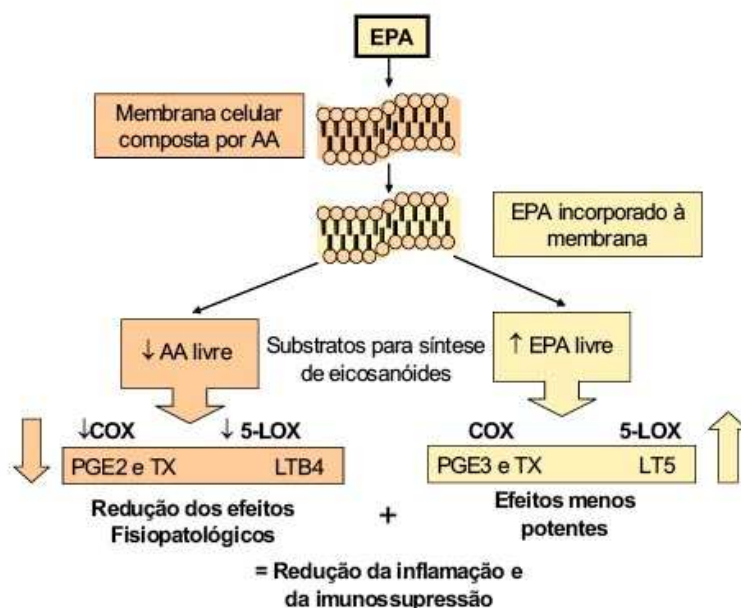


Figura 5 - Resposta anti-inflamatória do EPA.  
Fonte: ROBINSON et al., 2012.

## 2.8 Balanço lipídico de ômega 3: ômega 6

### 2.8.1 Balanço lipídico

No período paleolítico, a alimentação e nutrição do homem era completamente diferente em relação aos tempos modernos. A dieta dos caçadores-coletores caracterizava-se como sendo mais baixa na concentração de gordura total e saturada e continha pequenas quantidades de ácidos graxos de cadeia longa ômega-6 (n-6) e ômega-3 (n-3), em uma proporção n-6/n-3 aproximadamente, 1:1. Homens paleolíticos consumiam dietas contendo quantidades apreciáveis de ácidos graxos ômega-3, oriundos de vegetais e da gordura da caça de animais (LUSIS, ATTIE & REUE, 2009).

A evolução tecnológica dos últimos 100 anos tem contribuído para uma mudança nos padrões de consumo de gordura, especificamente, no aparecimento e ingestão de ácidos graxos *trans* oriundos principalmente de produtos a base de óleos vegetais hidrogenados, encontrados em óleos vegetais, em alimentos de origem animal e também nos *fast foods*. Em comparação com a dieta do período paleolítico, a dieta ocidental é pobre em ômega-3 e rica em gordura saturada, ácidos

graxos ômega-6 e ácidos graxos *trans* (MURPHY & BLOOM, 2007; SIMOPOULOS, 2008).

#### 2.8.2 Recomendação de ingestão ômega-6: ômega-3 na dieta

A recomendação proposta pela *Food and Agriculture Organization* (FAO) e Organização Mundial de Saúde (OMS) de n-6/ n-3 entre 5:1 ou 10:1, alertando os indivíduos que consomem alimentos fontes de ômega-6, a consumirem aqueles que apresentam maior taxa de ômega-3, como legumes, verduras, castanhas, frutos do mar, sementes... (FLAX PRIMER, 2012).

### **2.9 Características químicas de óleos e gorduras**

Em alimentos *in natura* e/ou processados, o oxigênio é o principal agente capaz de provocar alterações, como rancidez oxidativa e descoloração de vegetais, frutas e carnes. A oxidação dos constituintes do alimento (lipídios, vitaminas, pigmentos e flavorizantes) é o principal problema que afeta em todos os aspectos, a qualidade do produto (RAMALHO & JORGE, 2007).

O termo oxidação de lipídios refere-se a uma série de reações químicas envolvendo ácidos graxos insaturados e oxigênio. Durante a oxidação de lipídios, diversas reações de decomposição ocorrem simultaneamente, levando a formação de misturas complexas de produtos, incluindo aldeídos, cetonas, álcoois e hidrocarbonetos. Estes vários produtos voláteis contribuem com odor característico associado à oxidação de lipídios (ARAÚJO, 2011; COSTA & PELUZIO, 2011).

Dentre as análises de caracterização, o Índice de Iodo (II) é a medida da insaturação de óleos e/ou gordura, expressa em número de gramas de iodo absorvido por 100 g de amostra. Por conseguinte, II elevado significa alto grau de insaturação (BOBBIO & BOBBIO, 2003).

O Índice de Saponificação (IS) é a quantidade de base necessária para saponificar definida quantidade de óleo e/ou gordura. É expresso em número de miligramas de hidróxido de potássio necessário para saponificar 1,0 de amostra (BOBBIO & BOBBIO, 2003; ARAÚJO, 2011).

## **2.10 Justificativa**

Diretrizes nacionais reportam, pela primeira vez, a importância de medidas não-farmacológicas no controle de lipídios séricos e glicose, e estimulam constantemente, a investigação científica de nutrientes que apresentem compostos benéficos à saúde.

Embora no contexto da alimentação e nutrição, as sementes de linhaça e de gergelim, mesmo com suas características e propriedades funcionais mundialmente avaliadas e conhecidas, forneceram base para contribuir no presente trabalho, com dados obtidos através de ensaios biológicos e parâmetros físico-químicos, a importância e o efeito do consumo do óleo como ingrediente funcional dessas duas oleaginosas. Além disso, a combinação dos óleos das sementes em dietas experimentais, juntamente com a gordura animal, forneceram parâmetros para se avaliar efetivamente o efeito dessas fontes lipídicas sobre o metabolismo de ratos.

## REFERÊNCIAS

Adar ES, Goldbourt U. Nutritional recommendations for preventing coronary heart disease in women: Evidence concerning whole foods and supplements. *Nutr Met Card Diseases*. 2011; 20: 459-66.

Ailhaud G, Massiera F, Weill P. Temporal changes in dietary fats: Role of n-6 polyunsaturated fatty acids in excessive adipose tissue development and relationship to obesity. *Prog Lipid Res*. 2009; 45: 203-36.

Akbulut M, Çoklar H. Physicochemical and rheological properties of sesame pastes (tahin) processed from hulled and unhulled roasted sesame seeds and their blends at various levels. *J Food Process Eng*. 2008; 31: 488-02.

Appolinário PP, Derogis PBMC, Yamaguti T, Miyamoto S. Metabolismo, oxidação e implicações biológicas do ácido docosahexaenoico em doenças neurodegenerativas. *Quim Nova*. 2011; 34 (8), 1409-16.

Araújo JMA. Química de alimentos: Teoria e prática. Viçosa: UFV; 2011.

Arriel NHC, Vieira DJ, Firmino PT. Situação atual e perspectivas da cultura do gergelim no Brasil: Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas para o Nordeste Brasileiro. Brasília: EMBRAPA; 2005.

Barrachina AAC, Lluch MA, Munera IP, Hernando I, Castillo S. Effects of chemical dehulling of sesame on color and microstructure. *Food Sci Tech Int*. 2009; 7: 229-34.

Basbag S, Toncer O, Basbag M. Fatty acid composition of *Linum* spp. collected from southeastern of Turkey. *Chem Nat Comp*. 2009; 45: 411-21.

Bismas TK, Sana NK, Badal RK, Huque EM. Bioquimical studies of some seeds (Brassica, sesame and flax). *Pakistan J Biol Sci*. 2002; 8: 1002-05.

Beltrão NEM, Vieira DJ. O agronegócio do gergelim no Brasil. Brasília: Embrapa, 2002.

Bobbio PA, Bobbio FO. Introdução à química de alimentos. São Paulo: Varela, 2003.

Brasil. Ministério da Saúde. Política Nacional de Alimentação e Nutrição (PNAN). 2 ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2003.

Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Secretaria de Gestão Estratégica e Participativa. Vigitel: Vigilância de fatores de risco e proteção para doenças crônicas por inquérito telefônico / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Secretaria de Gestão Estratégica e Participativa. Brasília: Ministério da Saúde, 2011.

Costa NMB, Peluzio MCG. Nutrição básica e metabolismo. Viçosa: UFV; 2011.

Costa NMB, Rosa COB. Alimentos funcionais: Componentes bioativos e efeitos fisiológicos. Rio de Janeiro: Rubio, 2010.

Cooper JA, Polonsky KS, Schoeller DA. Serum leptin levels in obese males during over and underfeeding. Nat. 2011; 17: 2149-54.

[Colas R](#), [Sassolas A](#), Guichardant M, [Cugnet-Anceau C](#), [Moret M](#), [Moulin P](#), [Lagarde M](#), [Calzada C](#). LDL from obese patients with the metabolic syndrome show increased lipid peroxidation and activate platelets. Diabet. 2011; 54 (11), 2931-40.

Costuner Y, Karababa E. Some physical properties of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.). J Food Eng. 2008; 78: 297-305.

Cuppari L. Nutrição nas doenças crônicas não-transmissíveis. São Paulo: Manole, 2011.

Douglas CRR. Tratado de Fisiologia aplicado à Nutrição. São Paulo: Robe; 2006.

Elleuch M, Besbes S, Roiseux O, Blecker C, Attia H. Quality characteristics of sesame seeds and by-products. Food Chem. 2007; 103: 641-50.

Flax primer: A health and nutrition primer. Canada: Flax council of Canada; 2012.

Forti N, Diament J. Apolipoproteínas B e A-1. Fatores de risco cardiovascular? Rev Assoc Med Bras. 2007; 53: 3: 276-82.

[Guichardant M](#), [Chen P](#), [Liu M](#), [Calzada C](#), [Colas R](#), [Véricel E](#), [Lagarde M](#). Functional lipidomics of oxidized products from polyunsaturated fatty acids. [Chem Phys Lipids](#). 2011; 164 (6), 544-8.

Hollander JM, Jeffrey MD, Mechanick I. Complementary and alternative medicine and the management of the metabolic syndrome. J Am Diet Assoc. 2009; 108, 495-509.

Kouba M, Enser M, Whittington FM, Nute GR, Wood JD. Effect of a high-linolenic acid diet on lipogenic enzyme activities, fatty acid composition, and meat quality in the growing pig. J. Anim. Sci., 2009; 81:1967-93.

Krukowski RA, West DS. Consideration of the food environment in cancer risk reduction. J Am Diet Assoc. 2012; 110: 842-844.

Lehninger AL, Nelson DL, Cox MM. Biossíntese de lipídios. Princípios da Bioquímica. São Paulo: Sarvier; 2011.

Liberopoulos EN, Mikhailidis DP, Elisaf MS. Diagnosis and management of the metabolic syndrome in obesity. Obes Rev. 2008; 6, 283-96.

Liese AD, Mayer-Davis EJ, Haffner SM. Development of the multiple metabolic syndrome: An epidemiologic perspective. Epidem Rev. 2008; 20: 157-72.

Lusis AJ, Attie AD, Reue K. Metabolic syndrome: from epidemiology to systems biology. Nature Rev. 2009; 9: 819-30.

McCardle W, Katch F, Katch V. Fisiologia do exercício: Energia, nutrição e desempenho humano. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2007.

Madsen L, Petersen RK, Kristiansen K. Regulation of adipocyte differentiation and function by polyunsaturated fatty acids. *Biochim Biophys Acta*. 2010; 1740: 266-86.

Matthews KR, Homer DB, Thies F, Calder PC. Effect of whole linseed (*Linum usitatissimum*) in the diet of finishing pigs on growth performance and on the quality and fatty acid composition of various tissues. *British J Nutr.*, 2010; 83: 637-47.

Morise A. Effects of dietary alpha linoleic acid on cholesterol metabolism in male and female hamsters of the LPN strain. *J Nutr Biochem*. 2006; 15 (1), 51-61.

Moussavi N, Gavino V, Receveur O. Could the quality of dietary fat, and not just its quantity, be related to risk of obesity? *Obes*. 2010; 16 (1), 1545-51.

Muir AD, Westcott ND. Flax: The genus *Linum*. New York: Rout edge; 2005.

Murphy KG, Bloom SR. Gut hormones and the regulation of energy homeostasis. *Nat Rev*. 2007; 14: 854-59.

Oliveira CL, Mello MT, Cintra IP, Fisberg M. Obesity and metabolic syndrome in infancy and adolescence. *Rev Nutr Campinas*. 2004; 17 (2), 237-45.

Oomah BD, Mazza G. Flaxseed proteins: A review. *Food Chem*. 1993; 48; 109-14.

Oomah BD, Mazza G. Compositional changes during commercial processing of flaxseed. *Ind Crops Prod*. 1998; 9: 29-7.

Organização Mundial de Saúde (OMS). Estratégia global para a alimentação saudável, atividade física e saúde. Assembléia Mundial de Saúde; 2004.

Palmer IS, Olson O, Halverson AW, Miller R, Smith C. Isolation of factors in linseed oil meal protective against chronic selenosis in rats. *J. Nutr.*, 2010; 110: 145- 50.

Pimentel CVMB, Francki VM, Gollucke APB. Alimentos funcionais: Introdução as principais substâncias bioativas em alimentos. São Paulo: Varela; 2005.

Prasad K. Dietary flax seed in prevention of hypercholesterolemic atherosclerosis. *Atheroscl.* 2007; 132 (1), 69-76.

Ramadan MF, Amer MMA, El-Saadany SS, El-Masry RAEF, Awad AS. Changes in Lipid Profile by Vegetable Oil Blends Rich in Polyunsaturated Fatty Acids in Rats with Hypercholesterolemia. *Food Sci Tech Int.* 2010; 15: 119-30.

Ramalho VC, Jorge N. Antioxidantes usados em óleos, gorduras e alimentos gordurosos. *Quim Nova.* 2007; 4: 755-60.

Reilly MP, Rader DJ. The Metabolic Syndrome. More than the sum of its parts? *J Am Heart Assoc.* 2008; 108: 1546-51.

Reshma MV, Balachandran C, Arumughan C, Sunderasan A, Sukumaran D, Thomas S, Saritha SS. Extraction, separation and characterisation of sesame oil lignan for nutraceutical applications. *Food Quem.* 2010; 120: 1041-46.

Rolman RT. The slow discovery of the importance of  $\omega$ 3 essential fatty acids in human health. *J Nutr.*, 2010; 128: 427-33.

Rothenburg HC, Pereira FM. Avaliação dos efeitos da ingestão de semente de linhaça (*Linum usitatissimum*) em ratos wistar fêmeas hipercolesterolêmicos. *Cienc Tecnol Alim.* 2006; 23: 1-8.

Robinson JL, Donald LJ, Rashad JB, Greenland P, Martin L, Oberman A et al. Fish intake and the risk of incident heart failure: The women's health initiative. *J Am Heart Assoc.* 2012; 26; 1-45.

Ronti T, Lupattelli G, Mannarino E. The endocrine function of adipose tissue: An update. *Clinical End.* 2007; 64: 355-65.

Sales RL, Costa NMB, Monteiro JBR, Peluzio MCG, Coelho SB, Oliveira CG *et al.* The effects of peanut, safflower, and olive oil on body composition, energy metabolism, lipid profile and food intake of eutrophic, normolipidemic subjects. *Rev. Nutr Campinas*, 2006; 4: 499-11.

Sammour RH. Proteins of linseed (*Linum usitatissimum*) extraction and characterization by electrophoresis. *Bot Bull Acad Sinica*. 2007; 40 (2), 121-26.

Sgarbieri VC. Proteínas em alimentos proteicos: Propriedades, degradações e modificações. São Paulo: Varela, 1996; 259-34.

Shai I, Schwarzfuchs D, Henkin Y, Shahar DR, Witkow S, Greenberg I, Golan R, Fraser D, Bolotin A, Vardi H, Tangi OBA, Zuk RR, Sarusi B, Brickner D. Weight loss with a low-carbohydrate, mediterranean, or low-fat diet. *N Engl J Med*. 2009; 361 (3), 229-41.

Simopoulos AP. Evolutionary aspects of diet, the ômega-6/ômega-3 ratio and genetic variation: Nutritional implications for chronic diseases. *Sci Direct*. 2008; 60: 502-07.

Spinelli MGN. Obesidade e dislipidemia: Uma preocupação cada vez mais precoce. *Rev Bras Nutr Clínica*. 2004; 19 (4), 203-08.

Stienstra R, Duval C, Muller M, Kersten S. PPARs, obesity, and inflammation. *PPAR Res*. 2010; 1-10.

Ojiako OA, Igwe CU, Agha NC, Ogbuji CA, Onwuliri VA. Protein and amino acid compositions of *Sphenostylis stenocarpa*, *Sesamum indicum*, *Monodora myristica* and *Azzeria africana* seeds from Nigeria. *Pak J Nutr*. 2010; 4: 368-72.

Tokusoglu Ö, Ünal MK, Yýldýrym Z. Proximate chemical composition, amino acid and fatty acid profiles of sesame seed (*Sesamum indicum* L.) flours. *J Food Sci Tech*. 2003; 5: 175-78.

Thompson LU, Cunnane SC. Flaxseed in human nutrition. New York: AOCS; 2006.

Thomson ABR, Keelan M, Clandinin MT, Walker K. Dietary fat selectively alters transport properties of rat jejunum. *J Clin Invest.* 2009; 77: 279-89.

Trucom C. A importância da linhaça na saúde. São Paulo: Alaúde, 2006.

Turatti JM. Óleos vegetais como fontes de alimentos funcionais. *Óleos e Grãos.* 2002; 56: 20-27.

Waitzberg DL, Borges V. Gorduras. *Nutrição Oral, Enteral e Parenteral na Prática Clínica.* São Paulo: Atheneu; 2010.

Warensjö E, Sundström J, Lind L, Vessby B. Factor analysis of fatty acids in serum lipids as a measure of dietary fat quality in relation to the metabolic syndrome in men. *Am J Clin Nutr.* 2006; 84, 442-8.

Westcott ND, Muir AD. Flax seed lignan in disease prevention and health promotion. *Phytoch Rev.*, 2010; 2: 401-17.

WHO. World Health Organization. Preventing Chronic Diseases a vital investment. Geneva: WHO, 2005.

Yang L, Leung KY, Cao Y, Huang Y, Ratnayake WMN, Chen ZY.  $\alpha$ -Linolenic acid but not conjugated linolenic acid is hypocholesterolaemic in hamsters. *British J Nutr.* 2007; 93: 433-38.

Yasumoto SS, Katsuta M, Okuyama Y, Takahashi Y, Ide T. Effect of sesame seeds rich in sesamin and sesamol on fatty acid oxidation in rat liver. *J Agric Food Chem.* 2001; 49: 2647-51.

Yoshida H, Abe S, Hirakawa Y, Takagi S. Roasting effects on fatty acid distributions of triacylglycerols and phospholipids in sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds. *J Sci Food Agric.* 2008; 81: 620-27.

## OBJETIVO

Estudar o efeito do óleo de linhaça marrom, gergelim e gordura animal no metabolismo lipídico de ratos Wistar, bem como caracterizar os lipídios destas sementes.

### Objetivos específicos

- Avaliar o efeito do óleo de linhaça marrom, gergelim e gordura animal nos níveis séricos de colesterol total e frações, triglicerídeos e glicose de animais de experimentação;
- Caracterizar os óleos das sementes de linhaça marrom e gergelim;
- Avaliar o perfil de ácidos graxos das sementes oleaginosas;
- Avaliar os índices de qualidade nutricional dos óleos;
- Realizar ensaio experimental em ratos utilizando diferentes fontes lipídicas em dietas para crescimento;
- Verificar a evolução de peso e crescimento dos animais;
- Acompanhar a ingestão alimentar dos animais.

### **3. CAPÍTULO 2 SESAME AND FLAXSEED OIL: NUTRITIONAL QUALITY AND EFFECTS ON SERUM LIPIDS AND GLUCOSE IN RATS**

“ÓLEO DE GERGELIM E LINHAÇA: QUALIDADE NUTRICIONAL E EFEITO NOS LIPÍDIOS SÉRICOS E GLICOSE DE RATOS.”

\* ARTIGO APROVADO PARA PUBLICAÇÃO NA REVISTA CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS.

**SESAME AND FLAXSEED OIL: NUTRITIONAL QUALITY AND EFFECTS ON  
SERUM LIPIDS AND GLUCOSE IN RATS**

**Rita de Cássia Avellaneda Guimarães<sup>a\*</sup>, Maria Lígia Rodrigues Macedo<sup>b</sup>, Cláudia Leite  
Munhoz<sup>a</sup>, Wander Filiu<sup>c</sup>, Luís Henrique Viana<sup>d</sup>, Vanessa Taís Nozaki<sup>a</sup>, Priscila Aiko  
Hiane<sup>b</sup>.**

<sup>a</sup> Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Postgraduation Program in Health and  
Development in the Middle West Region, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brazil.

<sup>b</sup> Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Department of Food Technology and Public  
Health, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brazil.

<sup>c</sup> Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Department of Pharmacy, Campo Grande,  
Mato Grosso do Sul, Brazil.

<sup>d</sup> Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Laboratory of Fuels, Campo Grande, Mato  
Grosso do Sul, Brazil.

(\* Corresponding author: [ritaaguimaraes@gmail.com](mailto:ritaaguimaraes@gmail.com))

## RESUMO

Este estudo avaliou o valor nutricional do óleo de gergelim e de linhaça e seus efeitos sobre o perfil lipídico e glicose de ratos alimentados com dietas contendo diferentes combinações de gordura. Perfil de ácidos graxos, índice de refração, iodo e saponificação foram analisados para caracterizar os óleos. No ensaio biológico, ratos Wistar foram alimentados com diferentes dietas, cuja composição de gordura foi composta de combinações distintas de óleo de linhaça, gergelim e gordura animal. Os principais constituintes do óleo de sésamo foram oleico (28,6%), linoléico (28,4%) e láurico (14,6%); para o óleo de linhaça foram alfa-linolênico (39,90%), oleico (17,97%) e linoleico (12,25 %). Valores de iodo e saponificação dos óleos ficaram dentro do intervalo de referência. Ratos alimentados com óleo de linhaça nas dietas tiveram menores valores de colesterol sérico, enquanto que ratos alimentados com óleo de linhaça + óleo de gergelim + gordura animal obtiveram mais altos níveis de glicose. Níveis de HDL diminuíram significativamente com óleo de linhaça. Óleo de gergelim e linhaça são fontes de AGPI, e a dieta contendo óleo de linhaça teve um efeito hipocolesterolêmico, e no óleo de gergelim verificou-se estabilidade oxidativa, uma vez que contém altos níveis de monoinsaturados e ácidos graxos saturados.

**Palavras-chave:** Dietas, linhaça, gergelim, lipídios, índice de qualidade nutricional.

## **ABSTRACT**

This study evaluated the nutritional value of sesame and flaxseed oil and their effects on the lipid and glucose profile of rats fed diets containing different fat combinations. Fatty acid composition, refractive index, iodine and saponification value were analyzed to characterize the oils. In the biological assay, Wistar rats were fed with different diets whose fat composition consisted of varying combinations of flaxseed oil, sesame and animal fat. The primary constituents of the sesame oil were oleic (28.6%), linoleic (28.4%) and lauric (14.6%); for flaxseed oil they were alpha-linolenic (39.90%), oleic (17.97%) and linoleic acid (12.25%). The iodine and saponification values of the oils were within the reference range. Rats fed flaxseed oil-based diets had the lowest serum cholesterol values, whereas rats fed diets with flaxseed oil + sesame oil + animal fat had the highest glucose levels. HDL levels decreased significantly with flaxseed oil. Sesame and flaxseed oil are sources of PUFA , and the flaxseed oil-based diet had a hypocholesterolemic effect whereas sesame oil has oxidative stability since it contains high levels of monosaturated and saturated fatty acids.

**Keywords:** Diets, flaxseed, sesame, lipids, nutritional quality index

## 1. Introduction

Abnormal lipid metabolism is a main cause of dyslipidemia, which is a major risk factor for cardiovascular disease, obesity, cholestasis and overall mortality. It is well known that diet plays an important role in the control of cholesterol homeostasis (MORISE et al., 2004; FERNANDES et al., 2011). It has been reported that vegetable oils have been used as food and for medicinal purposes for hyperlipidemia and that they may be useful adjuncts to reduce the risk of cardiovascular disease and alterations in liver metabolism. Recent studies have demonstrated that ingestion of polyunsaturated fatty acids (PUFA), present in vegetable oils, is inversely related to the incidence of heart disease by decreasing cholesterol and plasma triglyceride levels (GALVÃO et al., 2012).

Arteriosclerotic vascular disease (ASVD) is associated to genetic factors, sex, age, smoking, sedentary lifestyle, overweight, hypertension, dyslipidemia and diabetes, but this and other cardiovascular disorders can be prevented by controlling dietary fat and cholesterol levels. Current recommended fat intakes are based on fat quality rather than amount (RAPOSO, 2010). In this respect, some types of fat such as PUFAs from the omega 3 ( $\omega$ -3) family gained importance as functional food.

Omega-3 PUFAs are primarily found in fish, especially in twait shad, salmon, tuna and anchovies (WHELAN & RUST, 2006). Another important source of PUFA is flaxseed obtained from *Linum usitatissimum* plants (Linaceae family), cropped mainly in Argentina, Brazil, Canada, China, India and Turkey (SAMMOUR, 2007). Flaxseed is a flat, oval-shaped seed (CHUNG et al., 2008; MARQUES et al., 2011) whose oil contains 53% alpha-linolenic acid (ALA), an essential  $\omega$ -3 fatty acid (USDA, 2006). Flaxseed is also a good source of dietary fiber (20-25%) (VIJAIMOHAN et al., 2006) and lignans (>500  $\mu$ g/g), which are plant steroids analogous to mammalian estrogen (STODOLNIK et al., 2005).

Polyunsaturated fatty acids from the n-6 ( $\omega$ -6) family, found in nuts, seeds and vegetable oils such as corn and soybean (INSTITUTE OF MEDICINE, 2005), are also important. Whereas  $\omega$ -3 PUFAs are precursors of 3-series prostanoids and 5-series leukotrienes (associated to anti-inflammatory and antithrombotic properties),  $\omega$ -6 PUFAs are precursors of 2-series prostanoids and 4-series leukotrienes (associated to pro-inflammatory and prothrombotic activity) (MCKENNEY & SICA, 2007).

Sesame (*Sesamum indicum* L.), another widely consumed seed, is a good  $\omega$ -6 source. This Pedaliaceae is cropped in both tropical and subtropical countries. India and China are the major producers, accounting for 70% of world production. In Brazil, 13,000 tons of sesame are produced over nearly 20,000 ha, yielding approximately 650 kg/ha (ARRIEL et al., 2005). Sesame oil has advantages over other vegetable oils owing to its high nutritional and therapeutic value. Sesame seeds, which are used in traditional Indian (Ayurvedic) and Chinese medicine, contain 57% highly stable oil (RESHMA et al., 2010). Owing to its high oxidative stability, sesame oil is added to margarines, salads and frying oils (YEN; LAY, 1990). Saturated fatty acid (SFA) content in sesame oil is nearly 14%, comparable to soy and corn oil. Oleic and linoleic (LA) acid levels are near 45%, which is close to found in corn, soy and cottonseed oil (EMBRAPA, 2001).

The Institute of Medicine (2005) developed Dietary Reference Intakes (DRIs) to evaluate adequate fatty acid intake based on the mean consumption of the American population. It recommends that adequate daily intake of omega-6 is 17 g for men and 12 g for woman, and for  $\omega$ -3 these values are 1.6 g for men and 1.1 g for women. The beneficial effects of diets containing long chain  $\omega$ -3 fatty acids (PUFA) justify the regular inclusion of this ingredient in human diet, although ALA conversion into eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA), the main therapeutic agents from  $\omega$ -3 fatty acids, is only around 6% (BURDGE, 2006).

Both flaxseed and sesame are nutritional supplements, representing an excellent source of PUFA that can promote cardioprotective effects if consumed daily (CHUNG; LEI; LI-CHAN, 2008). A number of studies in rats investigate the functional properties of their

lipid fraction, but the implications of fatty acid ratio for health have been scarcely investigated. As such, the present study evaluated the nutritional value of sesame and flaxseed oil and their effects on the lipid and glucose profile of rats fed diets with different oil combinations.

## **2. Material and Methods**

### **2.1 Oil extraction**

Flax and sesame seeds were obtained from a commercial dealer in Campo Grande, MS, Middle West Region, Brazil. Seeds were ground in a Turrattec mill and passed through a Tamis 60 (drum sieve). The oil fraction of the flaxseed and sesame meals produced was extracted with a solvent mixture containing a 2:1:0.8 ratio of methanol: chlorophorm: distilled water (BLIGH & DYER, 1959). The oil extracted was chemically characterized and used to formulate the experimental diets along with animal fat obtained from a conventional supplier.

### **2.2 Animals and Experimental Design**

Wistar rats (*Rattus norvegicus*) weaned at 21 days of age and weighing  $79.49 \pm 0.50$ g were separated into 8 groups of 6 animals each. The groups received one of 8 diets designed to support growth, with similar protein and fat content and formulated according to the American Institute of Nutrition (AIN) (REEVES, NIELSEN & FAHEY, 1993). The diets had similar composition except for fat source, which consisted of different proportions of linseed oil, sesame oil and animal fat. The rats were allowed to feed on the diets and drink water *ad libitum*. The control group (Group 0) was given commercial feed (Nuvilab CR-1). Diet composition was analyzed to ensure that caloric and macronutrient balance was in accordance with AIN-93C.

The fat source of the experimental diets consisted of soybean oil for group G<sub>C</sub> (control); animal fat for G<sub>A</sub>; flaxseed oil for G<sub>F</sub>; sesame oil for G<sub>S</sub>; animal fat + flaxseed oil for G<sub>AF</sub>; animal fat + sesame oil for G<sub>AS</sub>; flaxseed oil + sesame oil for G<sub>FS</sub>; and animal fat + flaxseed oil + sesame oil for G<sub>AFS</sub>. Diet ingredients were sieved to produce homogeneous diets with similar granulometry. The antioxidant TBHQ was used to minimize PUFA oxidation in the diets.

Diets were elaborated according to reference values and contained 200 g caseine, 132 g dextrinized starch, 397 g corn starch, 50 g cellulose, 100 g sucrose, 7 g fat, 2.5 g choline bitartrate, 35 g mineral mixture, 10 g vitamin mixture, and 3 g L-cystine per kilogram.

The experiment lasted 45 days, with the first 5 days used to adapt the rats to the diets. Animals were weighed once a week, and food intake was measured daily by calculating the difference between the amount of food provided and the non-consumed portion. Feed efficiency (weight gain/feed intake) was also calculated.

At the end of the experiment, the rats were anesthetized for blood collection and subsequently killed. Blood samples were centrifuged to obtain serum fractions, which were stored at -18 °C until analysis.

The present study was carried out in accordance with regulations and ethical guidelines established by the “*Colégio Brasileiro de Experimentação Animal (COBEA)*”, and the experimental protocol was approved by the CEUA/UFMS Ethics Committee for Animal Use (Protocol 272).

### **2.3 Serum analysis**

Total cholesterol and its fractions, triglycerides and blood glucose were determined in serum samples using enzyme-colorimetric methods with specific kits and spectrophotometric measurements (HAGEN & HAGEN, 1962; FLEG, 1973; CAREY, FELBRUEGGE & WESTGARD, 1974).

## **2.4 Fatty-acid composition of seed oils**

To determine fatty acid composition from sesame and flaxseed lipid, extracted oils were saponified, esterified and transferred to hexane, according to the Hartman and Lago (1973) method modified by Maia and Rodriguez-Amaya (1993). Fatty acid methyl esters were analyzed using a Shimadzu GC-2010 chromatograph with AOC-5000 autoinjector and flame ionization detector (FID). A Restek Stabilwax-DA fused-silica bonded-phase column (30m × 0.25mm; 0.25 µm) was used, with both injector and FID operated at 250 °C. Initial oven temperature of 80 °C was maintained for 3 min and then raised to 140 °C at a rate of 10 °C/min and to 240 °C at 5 °C/min, which was kept for 11 min. Methyl ester peaks were identified by comparing their retention times on the column with that of standard fatty acid methyl esters. Quantification was determined using the area correction factor (MAIA; RODRIGUEZ-AMAYA, 1993; HOLLAND et al., 1994).

## **2.5 Physicochemical characterization of the oils**

Seed lipid content was determined by Soxhlet extraction with hexane. The refractive index was obtained using an Abbe direct reading refractometer. To determine iodine value the oil was introduced into an erlenmeyer flask with carbon tetrachloride and Wijs solution. The final solution was titrated with sodium thiosulfate until it turned from black to pink. To determine saponification value, flaxseed and sesame oil were placed in beakers and added with KOH. After the addition of phenolphthalein, solutions were titrated with HCl until the

pink color disappeared. All the assays were performed in triplicate and according to methods of the American Oil Chemist's Society (AOCS, 1998).

## 2.6 Nutritional quality index

Nutritional quality, using five different indexes, was evaluated based on the fatty acid composition of the oils. The atherogenic index (AI) (Eq. 1) and the thrombogenic index (IT) (Eq. 2) considered the monounsaturated acid (MUFA) levels and were based on Ulbrich and Southgate (1991). The hypocholesterolemic: hypercholesterolemic ratio (HH) (Eq. 3) was calculated according to Santos; Bessa and Santos (2002). The PUFA:SFA and  $\omega 6:\omega 3$  ratios were also calculated.

$$AI = \frac{C_{12:0} + 4 \times C_{14:0} + C_{16:0}}{\sum MUFA + \sum \omega 6 + \sum \omega 3} \quad \text{Eq. 1}$$

$$TI = \frac{C_{14:0} + C_{16:0} + C_{18:0}}{0.5 \times \sum MUFA + 0.5 \times \sum \omega 6 + 3 \times \sum \omega 3} \quad \text{Eq. 2}$$

$$HH = \frac{C_{18:1cis} + C_{18:2\omega 6} + C_{20:4\omega 6} + C_{18:3\omega 3} + C_{20:5\omega 3} + C_{22:5\omega 3} + C_{23:6\omega 3}}{C_{14:0} + C_{16:0}} \quad \text{Eq. 3}$$

## 2.7 Statistical analysis

Data were analyzed using analysis of variance complemented by the Tukey test. Significance level was set at 0.05 and analyzed by one-way analysis of variance (ANOVA).

## 3. Results and Discussion

### 3.1 Fatty acid composition

Table 1 shows fatty acid composition of the oils.

**Table 1.** Fatty acid content (mean  $\pm$  sd) of sesame oil and flaxseed oil.

| Fatty Acid                          | Sesame Oil (%)                | Flaxseed Oil (%)              |
|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| <b>Saturated (SFA)</b>              |                               |                               |
| Caprylic (C8:0)                     | 3.22 $\pm$ 0.27               | -                             |
| Capric (C10:0)                      | 2.06 $\pm$ 0.12               | -                             |
| Lauric (C12:0)                      | 14.59 $\pm$ 0.49              | -                             |
| Myristic (C14:0)                    | 4.38 $\pm$ 0.13               | -                             |
| Palmitic (C16:0)                    | 7.49 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>  | 4.72 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>  |
| Heptadecanoic (C17:0)               | 0.03 $\pm$ 0.02               | -                             |
| Stearic (C18:0)                     | 4.04 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>  | 4.59 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>  |
| Arachidonic (C20:0)                 | 0.35 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>  | 0.18 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>  |
| Behenic (C22:0)                     | 0.08 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>  | 0.17 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>  |
| Lignoceric (C24:0)                  | 0.11 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>  | 0.25 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>  |
| TOTAL SFA                           | 36.43 <sup>a</sup>            | 9.97 <sup>b</sup>             |
| <b>Monounsaturated (MUFA)</b>       |                               |                               |
| Oleic (C18:1 $\omega$ -9)           | 28.59 $\pm$ 0.44 <sup>a</sup> | 17.97 $\pm$ 0.09 <sup>b</sup> |
| Palmitoleic (C16:1 $\omega$ -7)     | 0.08 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>  | 0.06 $\pm$ 0.05 <sup>b</sup>  |
| Vaccenic (C18:1 $\omega$ -7)        | 0.52 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>  | 0.60 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>  |
| Gadoleic (C20:1n9)                  | -                             | 0.03 $\pm$ 0.05               |
| TOTAL MUFA                          | 28.59 <sup>a</sup>            | 18.0 <sup>b</sup>             |
| <b>Polyunsaturated (PUFA)</b>       |                               |                               |
| Linoleic (C18:2 $\omega$ -6)        | 28.35 $\pm$ 0.46 <sup>a</sup> | 12.25 $\pm$ 0.05 <sup>b</sup> |
| Alpha-linolenic (C18:3 $\omega$ -3) | 0.29 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>  | 39.90 $\pm$ 0.14 <sup>b</sup> |
| Eicosanoic (C20:2 $\omega$ -6)      | 0.05 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>  | 0.09 $\pm$ 0.08 <sup>b</sup>  |
| TOTAL PUFA                          | 28.69 <sup>a</sup>            | 52.24 <sup>b</sup>            |

\* Non-detected fatty acids are indicated by a dash (-). Different letters in a same row indicate statistical differences (p<0.05).

Some studies about sesame oil found 8.63% myristic acid for cultivar CNPA G2, 9.08% for CNPA G3 and 8.71% for Seridó, but did not detect lauric acid in these varieties (ANTONIASSI et al., 1997). Ünal and Yalçın (2008) found 8.46  $\pm$  0.10% palmitic acid and 4.93  $\pm$  0.10% stearic acid in sesame oil, similar to the values reported in the present study. Embrapa (2001) reports that sesame cultivars CNPA G2, CNPA G3 and CNPA G contain 40.66, 38.53 and 42.27% oleic acid and 44.57, 46.71 and 41.72% linoleic acid (LA),

respectively, higher values than those found in the present study. Uzun et al. (2007) found 45.3% LA and 37.0% oleic acid in sesame oil, but they found no linolenic acid fractions.

Omega-3 and  $\omega$ -6 fatty acids are eicosanoid precursors that regulate immune and inflammatory functions. Some essential fatty acid (EFA) derivatives, such as dihomo-gamma-linolenic and arachidonic acid, both from the  $\omega$ -6 series, and EPA, from the  $\omega$ -3 series, are especially important because they are lipid mediators involved in many physiological functions (KRUMMEL, 2007).

Long chain fatty acids are incorporated into cell membranes in the following order: EPA and DHA ( $\omega$ -3), arachidonic acid ( $\omega$ -6) and oleic acid ( $\omega$ -9). In addition to the effects on membrane stability and fluidity,  $\omega$ -3 and  $\omega$ -6 are eicosanoid precursors, lipid-soluble inflammatory mediators that are one of the main routes of fatty acid activity (WAITZBERG; BORGES, 2005). Long chain fatty acids also participate in the mediation of many molecular signals involved in cholesterol metabolism (KÖKTEN et al., 2010).

Earlier reports on flaxseed oil report higher PUFA levels than those obtained in the present study. Epaminondas (2007) found 7.06% palmitic acid and Vijaimohan et al. (2006) more than 51% ALA, 17% LA and 18% oleic acid. Choo, John and Dufour (2007) analyzed 3 flaxseed varieties, ALA values ranging from 54 to 59.6%. However, Peiretti and Meineri (2008) found 2.9% palmitic, 0.3% oleic, 5.8% LA and 32.8% ALA levels in flaxseed oil, lower values than those reported here.

The sum of SFA and MUFA was higher in sesame than in flaxseed oil. However, the sum of MUFA and PUFA was higher in flaxseed than in sesame oil. This indicates that flaxseed oil is a good source of fatty acids with cardioprotective properties. According to the American Heart Association (2004), an adult should consume 20-23% PUFA and 10% SFA. The oils reported in the present study meet these standards and can therefore be added to diet.

The human body usually makes use of dietary fatty acids. However, it is capable of producing SFA and MUFA from glucose and amino acids through enzymatic elongation (addition of 2 carbon units) and desaturation (formation of new double bonds). Desaturation activity is stimulated by insulin and inhibited by glucose, adrenalin and glucagon (KRIS-ETHERTON, 2006).

The incorporation of essential fatty acids may provoke structural and functional changes in the phospholipidic membrane, affecting important biological processes such as the synthesis of inflammatory mediators, including eicosanoids (COSTUNER; KARABABA, 2008).

Recent studies exhibit increasing interest in PUFA as essential components of the human diet. They have been shown to play an essential role in a number of biological systems, combating coronary and degenerative disorders. Besides being structural components of cell membranes, PUFA play an important role in regulatory function, acting as a source of eicosanoids, prostaglandins being the predominant component (RAMADAN et al., 2009). In addition, PUFA are the primary bio-membrane components, including the plasma membrane, endoplasmic reticulum and mitochondrial membrane (KATHWAYS & MAJUBAR, 2010).

### **3.2 Nutritional quality indexes**

Nutritional quality of sesame seed and flaxseed lipid fractions evaluated by the different indexes is shown in Table 2.

**Table 2.** Evaluation of sesame and flaxseed oil by nutritional quality indexes.

| INDEX                                               | Sesame Oil | Flaxseed Oil |
|-----------------------------------------------------|------------|--------------|
| PUFA:SFA ratio                                      | 0.79       | 5.24         |
| $\omega 6:\omega 3$ ratio                           | 97.80      | 0.31         |
| atherogenicity index (AI)                           | 0.69       | 0.07         |
| thrombogenicity index (TI)                          | 0.13       | 0.07         |
| hypocholesterolemic:hypercholesterolemic ratio (HH) | 4.82       | 14.85        |

Diets with a PUFA:SFA ratio below 0.45 are considered inadequate (DEPARTMENT OF HEALTH AND SOCIAL SECURITY, 1984) because of their potential to increase blood cholesterol levels. We found a PUFA:SFA ratio of 0.79 in sesame oil and 5.25 in flaxseed oil, indicating that these oils have good fatty acid balance.

Determination of the  $\omega 6:\omega 3$  ratio is important for human health since excessive consumption of  $\omega 6$ , accompanied by decreased ingestion of  $\omega 3$ , is a risk factor for cardiovascular disorders. These fatty acids compete for enzymes involved in desaturation reactions and chain elongation. Although these enzymes have greater affinity for fatty acids from the  $\omega$ -3 series, the conversion of linolenic acid into long-chain PUFA is strongly affected by dietary linolenic acid levels (RAMADAN et al., 2009). Thus, the  $\omega 6:\omega 3$  ratio of 97.80 found in sesame oils is within the range of 5:1 to 10:1 recommended by the WHO (1995). The ratio obtained for flaxseed was 0.31, which is below the recommended level.

Indexes based on the functional properties of the different fatty acids allow better evaluation of the nutritional quality of foods. Although these indexes have not been applied to evaluate edible oils, they have been used to evaluate fish meat. As such, a number of studies on fish meat are used here for comparison purposes.

The HH index considers specific effects of fatty acids on cholesterol metabolism, and high HH values are desired from a nutritional standpoint. In the present study HH was 4.82 for sesame oil and 14.85 for flaxseed oil, much higher values than those reported for fish from

the Brazilian Pantanal, (1.49 - 1.84) and considered quite high for an animal product (RAMOS-FILHO et al., 2008).

The AI (pro- and antiatherogenic) and TI (pro- and antithrombogenic) indexes are related to cardiovascular disease risk factors. Thus, the values of these indexes must be kept low. AI and TI were lower than 1 for both sesame and flaxseed oil, due to the cardioprotective effect of their PUFA (RAMOS-FILHO et al., 2008) also found AI and TI values below 1.0 for Pantanal fish, except for pacu fish, which had a TI of 1.16.

### 3.3 Physicochemical properties of the oils

Seed lipid content, the refractive index and iodine and saponification values of sesame and flaxseed oils are shown in Table 3.

**Table 3.** Physicochemical characteristics (mean  $\pm$  sd) of sesame oil and flaxseed oil.

| Characteristic                                    | Sesame Oil                     | Flaxseed Oil                   |
|---------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Lipid Contents (g kg <sup>-1</sup> )              | 56.50 $\pm$ 0.67 <sup>a</sup>  | 39.52 $\pm$ 0.36 <sup>b</sup>  |
| Refractive Index at 40 °C                         | 1.465 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>  | 1.474 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>  |
| Iodine Value (g I <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> ) | 90.17 $\pm$ 0.75 <sup>a</sup>  | 123.19 $\pm$ 0.09 <sup>b</sup> |
| Saponification Value (mg KOH kg <sup>-1</sup> )   | 416.78 $\pm$ 1.07 <sup>a</sup> | 511.90 $\pm$ 1.59 <sup>b</sup> |

\* Different letters in a same row indicate statistical differences (p<0.05).

Total lipid content in flaxseed is within the 30 - 50 g. kg<sup>-1</sup> range reported in earlier studies (ROTHENBURG; PEREIRA, 2006; VIJAIMOHAN et al.; 2006; MATHEWS et al., 2000). Lipid content was higher in the sesame seeds than that obtained in earlier studies on national and imported seed varieties, which did not exceed 54.7% oil yield (EMBRAPA, 2001; RESHMA et al., 2010; UZUN et al., 2007).

The refractive index was 1.465  $\pm$  0.01 for sesame oil and 1.474  $\pm$  0.01 for flaxseed oil. These values are comparable to the refractive index of cottonseed oil (1.458 to 1.466),

rapeseed oil (1.465 to 1.467), corn oil (1.465 to 1.468) and soy oil (1.466 to 1.470) (CORSINI & JORGE, 2006).

The refractive index reflects the relationship between the speed of light in air and in the oil. This value increases with chain length and fatty acid unsaturation and is associated to the iodine index (ORDOÑEZ-PEREDA, 2005). Flaxseed oil has more units of long-chain fatty acids (over 16 carbons) and unsaturations than sesame oil. Thus, the refractive index of flaxseed oil ( $1.474 \pm 0.01$ ) is higher than that of sesame oil ( $1.465 \pm 0.01$ ).

The reference values proposed by the AOCS (1998) for flaxseed oil are  $170 \text{ g I}_2 \text{ kg}^{-1}$  for the iodine index and  $196 \text{ mg KOH kg}^{-1}$  for the saponification index, higher values than those observed in the present study. Similarly, ANVISA (1999) report an iodine value of  $104 \text{ g I}_2 \text{ kg}^{-1}$  and saponification value of  $195 \text{ mg KOH kg}^{-1}$  for sesame oil, higher than those found in the present study. Discrepancies among the studies are likely associated to different SFA and UFA levels in the oil samples analyzed, which vary according to the region in which the seeds were produced and inherent climatic, soil and management conditions.

Since saponification value is related to the length of the fatty acid chain, it therefore decreases with the molecular weight of the fatty acid (CECCHI, 2003). Sesame oil has a higher sum of SFA (36.43%) than flaxseed oil (9.97%), confirming the proportionality of the saponification index, which was also higher for sesame oil.

### **3.4 Weight Evolution**

In the 3 first weeks of the experiment, the groups fed the experimental diets had higher weight gain than those from  $G_C$ , which were fed the commercial diet (Table 4,  $p < 0.05$ ).

**Table 4.** Mean weight gain, food intake and feed efficiency ( $\pm$ sd; n=6) in rats fed experimental diets based on different fat sources for 45 days.

| Group            | Weight gain (g)                 | Food intake (g)                | Feed efficiency (g) |
|------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------|
| G <sub>C</sub>   | 208.60 <sup>b</sup> $\pm$ 6.69  | 14.87 <sup>b</sup> $\pm$ 8.99  | 14.03               |
| G <sub>A</sub>   | 258.07 <sup>a</sup> $\pm$ 17.17 | 15.88 <sup>a</sup> $\pm$ 3.44  | 16.25               |
| G <sub>F</sub>   | 273.52 <sup>a</sup> $\pm$ 11.85 | 15.05 <sup>a</sup> $\pm$ 14.76 | 18.17               |
| G <sub>AF</sub>  | 281.17 <sup>a</sup> $\pm$ 10.70 | 15.77 <sup>a</sup> $\pm$ 10.44 | 17.83               |
| G <sub>S</sub>   | 254.67 <sup>a</sup> $\pm$ 27.97 | 15.09 <sup>a</sup> $\pm$ 12.54 | 16.88               |
| G <sub>AS</sub>  | 260.59 <sup>a</sup> $\pm$ 11.82 | 15.04 <sup>a</sup> $\pm$ 11.01 | 17.33               |
| G <sub>FS</sub>  | 279.23 <sup>a</sup> $\pm$ 11.79 | 14.99 <sup>a</sup> $\pm$ 7.22  | 18.63               |
| G <sub>AFS</sub> | 271.38 <sup>a</sup> $\pm$ 27.57 | 15.07 <sup>a</sup> $\pm$ 7.89  | 18.01               |

The diets were based on: G<sub>C</sub> = soybean oil; G<sub>A</sub> = animal fat; G<sub>F</sub> = flaxseed oil; G<sub>AF</sub> = animal fat + flaxseed oil;

G<sub>S</sub> = sesame oil; G<sub>AS</sub> = animal fat + sesame oil; G<sub>FS</sub> = flaxseed oil + sesame oil; G<sub>AFS</sub> = animal fat + flaxseed oil + sesame oil.

Different letters in a column indicate statistical difference between the groups (p<0.05)

Animals fed experimental diets grew faster, probably because they adapted faster. From the 4th to the 6th week, rats from the experimental groups continued gaining more weight than control rats (p<0.05), except for G<sub>AFS</sub>, whose diet was likely less palatable.

### 3.5 Blood parameters

Consuming diets enriched with animal fat increases the risk of cardiovascular diseases, causing hyperlipidemia and ASVD in addition to augmenting LDL-cholesterol levels over time (ONODY et al., 2005). Table 5 shows that glucose levels were higher in G<sub>AFS</sub> than in G<sub>C</sub>, G<sub>A</sub>, G<sub>AF</sub>, G<sub>S</sub> and G<sub>AS</sub> (p>0.05), and that G<sub>F</sub> and G<sub>FS</sub> had intermediary values (p<0.05).

**Table 5.** Mean values ( $\pm$ sd; n=10) for blood parameters (in mg.dL<sup>-1</sup>) in rats receiving diets with different fat composition for 45 days.

| Groups           | Glucose                          | Total Cholesterol               | HDL-c                           | LDL- c                        | VLDL- c                         | Tryglyceride                     |
|------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| G <sub>C</sub>   | 144.83 <sup>b</sup> $\pm$ 27.23  | 57.00 <sup>ab</sup> $\pm$ 1.67  | 51.17 <sup>a</sup> $\pm$ 2.79   | 5.98 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.58 | 5.00 <sup>c</sup> $\pm$ 1.67    | 25.83 <sup>c</sup> $\pm$ 7.83    |
| G <sub>A</sub>   | 177.83 <sup>b</sup> $\pm$ 41.92  | 58.00 <sup>ab</sup> $\pm$ 4.98  | 45.17 <sup>abc</sup> $\pm$ 4.88 | 6.43 <sup>a</sup> $\pm$ 1.28  | 11.00 <sup>bc</sup> $\pm$ 3.52  | 54.50 <sup>bc</sup> $\pm$ 16.91  |
| G <sub>F</sub>   | 207.17 <sup>ab</sup> $\pm$ 42.52 | 47.33 <sup>b</sup> $\pm$ 5.75   | 39.67 <sup>c</sup> $\pm$ 3.82   | 5.08 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.95 | 14.83 <sup>bc</sup> $\pm$ 5.08  | 74.83 <sup>abc</sup> $\pm$ 25.65 |
| G <sub>AF</sub>  | 172.67 <sup>b</sup> $\pm$ 56.22  | 59.83 <sup>ab</sup> $\pm$ 3.06  | 44.83 <sup>abc</sup> $\pm$ 1.83 | 4.95 <sup>ab</sup> $\pm$ 2.19 | 27.00 <sup>a</sup> $\pm$ 12.18  | 135.17 <sup>a</sup> $\pm$ 61.34  |
| G <sub>S</sub>   | 198.33 <sup>b</sup> $\pm$ 36.03  | 63.17 <sup>a</sup> $\pm$ 6.11   | 48.67 <sup>abc</sup> $\pm$ 2.66 | 4.38 <sup>ab</sup> $\pm$ 1.32 | 22.00 <sup>ab</sup> $\pm$ 5.29  | 109.50 <sup>ab</sup> $\pm$ 25.67 |
| G <sub>AS</sub>  | 191.17 <sup>b</sup> $\pm$ 58.86  | 62.00 <sup>a</sup> $\pm$ 14.14  | 49.00 <sup>ab</sup> $\pm$ 8.58  | 4.50 <sup>ab</sup> $\pm$ 2.40 | 22.17 <sup>ab</sup> $\pm$ 9.66  | 110.50 <sup>ab</sup> $\pm$ 47.79 |
| G <sub>FS</sub>  | 209.50 <sup>ab</sup> $\pm$ 38.84 | 55.00 <sup>ab</sup> $\pm$ 10.39 | 43.33 <sup>abc</sup> $\pm$ 7.58 | 4.12 <sup>ab</sup> $\pm$ 1.16 | 18.50 <sup>ab</sup> $\pm$ 3.83  | 92.83 <sup>ab</sup> $\pm$ 19.17  |
| G <sub>AFS</sub> | 288.00 <sup>a</sup> $\pm$ 65.16  | 54.50 <sup>ab</sup> $\pm$ 5.72  | 41.83 <sup>bc</sup> $\pm$ 2.23  | 3.62 <sup>b</sup> $\pm$ 1.18  | 15.67 <sup>abc</sup> $\pm$ 3.72 | 78.33 <sup>abc</sup> $\pm$ 18.80 |

The diets were based on: G<sub>C</sub> = soybean oil; G<sub>A</sub> = animal fat; G<sub>F</sub> = flaxseed oil; G<sub>AF</sub> = animal fat + flaxseed oil; G<sub>S</sub> = sesame oil; G<sub>AS</sub> = animal fat + sesame oil; G<sub>FS</sub> = flaxseed oil + sesame oil; G<sub>AFS</sub> = animal fat + flaxseed oil + sesame oil.

Different letters in a column indicate statistical difference between the groups (p<0.05).

Marques et al. (2011) report that the combination of flaxseed and flaxseed oil in rat diet produces lower glucose levels ( $160.8 \pm 33.6$  mg.dL<sup>-1</sup>) than diets containing only roasted flaxseed ( $180.4 \pm 35.4$  mg.dL<sup>-1</sup>) or flaxseed oil ( $185.2 \pm 65.7$  mg.dL<sup>-1</sup>), probably because flaxseed provides a high content of soluble and insoluble fibers that contribute to decreased glucose and triglyceride levels, while flaxseed oil confers cardioprotective benefits. Other *in vivo* beneficial effects of flaxseed are promoted by lignans associated to its fiber matrix. Lignans, which participate in the inactivation of free radicals from fatty acids and reactive oxygen species, has an indirect *in vivo* effect on endogenous antioxidant systems such as glutathione (FERNANDES et al., 2011).

Baba et al. (2002) report that rats fed sesame oil-based diets exhibited higher glucose levels ( $120.09 \pm 5.00$  mg.dL<sup>-1</sup>) than those fed diets based on soybean oil ( $109 \pm 6.08$  mg.dL<sup>-1</sup>) and rapeseed oil ( $96.9 \pm 6.19$  mg.dL<sup>-1</sup>). Ramesh (2011) showed that the glycemic index of rats treated with sesame oil-based diet for 42 days decreased from  $80.15 \pm 4.32$  to  $76.18 \pm 3.68$

mg.dL<sup>-1</sup> in normoglycemic rats and from 242.85 ± 7.49 to 222.02 ± 8.27 mg.dL<sup>-1</sup> in diabetic rats.

Cholesterol levels were lower in G<sub>F</sub> than in G<sub>S</sub> and G<sub>AS</sub> (P<0.05) and the other groups showed intermediary values (p>0.05). Omega-3 fatty acids found in flaxseed oil contribute to increasing cholesterol excretion via bile, thereby depleting the liver cholesterol pool and increasing the synthesis of free cholesterol (MORISE et al., 2004). In addition, diets containing ALA decrease fat accumulation in the liver because the acid stimulates the β-oxidation of fatty acids and inhibits their synthesis (RAMADAN et al., 2009; ALMEIDA, BOAVENTURA & SILVA, 2009). Improving lipid metabolism by enhancing substrate mobilization and β-oxidation in the liver, as well as PUFA rich diets such as those containing flaxseed oil, might promote a cardioprotective effect (BASBAG, TONCER & BASBAG, 2009). On the other hand, animal fat consumption stimulates phospholipid biosynthesis, possibly because it decreases phospholipase activity or increases phospholipid volume, triggering an inflammatory process (BASBAG, TONCER & BASBAG, 2009).

HDL-c levels were lower in G<sub>F</sub> than in G<sub>C</sub> (p< 0.05), and the other groups exhibited similar intermediary values (p<0.05). Another study found HDL-c values of 54.0 mg.dL<sup>-1</sup> in rats fed brown flaxseed oil-based diets, 54.3 mg.dL<sup>-1</sup> with roasted flaxseed and 51.9 mg.dL<sup>-1</sup> with crude flaxseed (Marques et al., 2011).

LDL-cholesterol levels were higher in G<sub>A</sub> than in G<sub>AFS</sub>, likely because animal fat alone has greater potential to increase this cholesterol fraction than combined with the SFAs and MUFAs of sesame oil. Flaxseed oil action in G<sub>AFS</sub> was likely diminished by the high MUFA and SFA content. VLDL-c levels in turn were higher in G<sub>AF</sub> than in G<sub>C</sub> and G<sub>AFS</sub> (p<0.05).

Despite the results obtained, the LDL/HDL ratio calculated to assess risk factors for ASVD (SOCIEDADE BRASILEIRA DE ANGIOLOGIA E CIRURGIA VASCULAR, 2005)

was under 1.0 in all the treatments. Another study on rats fed flaxseed oil-based diets found HDL-c levels of  $21.02 \pm 1.58 \text{ mg.dL}^{-1}$ , LDL-c of  $47.59 \pm 3.37 \text{ mg.dL}^{-1}$  and VLDL of  $13.46 \pm 1.46 \text{ mg.dL}^{-1}$  (VIJAIMOHAN et al., 2006).

Other studies demonstrate that the regular consumption of  $\omega$ -3 PUFA is efficient in reducing total cholesterol, cholesterol fractions and triglycerides. However, humans with hypertriglyceridemia treated with dietary  $\omega$ -3 PUFA had a 45% increase in LDL-c levels (89 to  $129 \text{ mg.dL}^{-1}$ ), contradicting the cardioprotective effects described for these fats (HARRIS et al., 2008; NAGAO & YANAGITA, 2008).

Fish oil is widely used because of its high  $\omega$ -3 content, the measurable effects it causes on blood serum as well as its capacity for reducing blood lipoproteins and mediating cellular inflammation. For instance, the use of 9 to  $12 \text{ g}^{-1}$  day of fish oil or 20 to  $40 \text{ g}^{-1}$  day of flaxseed oil improves lipid profile by decreasing plasma cholesterol (total and fractions) and the levels of inflammatory mediators and platelet aggregation (KAUL et al., 2008). However, 9 to 40 capsules of oil should be consumed daily to provide the health effects reported, which is not practical for consumers since dietary guidelines rarely suggest the consumption of more than 2 capsules per day of any compound. In addition, consumers seldom follow treatments with high doses of oil because the capsules have an unpleasant taste and frequently cause acid eructation (acid belching) (KAUL et al., 2008).

Daily supplementation with 20 to 50 g of flaxseed oil can decrease total cholesterol and LDL-c to normal levels in patients with hypercholesterolemia, and 38 to 40 g of ground flaxseed can reduce lipoprotein A, apolipoprotein A-1 and apolipoprotein B values in postmenopausal woman (BARAKAT & MAHMOUD, 2011). However, overweight adults that consumed 50 g of chia seed (*Salvia hispanica* L.) did not decrease body measures, lipoproteins, serum EPA or DHA levels, but increased ALA levels (SENER et al., 2009).

SENER et al. (2009) reported that rats fed diets with 1% cholesterol supplemented with flaxseed and pumpkin seed (33% p/p), followed by deprivation of  $\omega$ -3 fatty acids, and then fed diets with 5% flaxseed oil increased adipose tissue formation.

In the present study, rats fed flaxseed oil ( $G_F$ ) had higher HDL and lower LDL and VLDL levels compared to those reported by Morise et al. (2004), who studied the effects of flaxseed oil inclusion in rat diet. They found HDL of  $32.8 \pm 0.27 \text{ mg.dL}^{-1}$ , LDL of  $4.70 \pm 0.05 \text{ mg.dL}^{-1}$  and VLDL of  $3.00 \pm 0.05 \text{ mg.dL}^{-1}$ .

As with cholesterol, elevated blood triglyceride levels damage vascular endothelial cells, provoking cardiovascular disorders (WHELAN & RUST, 2006). Diets based on saturated fats increase triglyceride levels, and despite increased lipase activity, fat accumulate in the liver (PELIZZON et al., 2008). In the present study, triglyceride levels were higher in  $G_{AF}$  and lower in  $G_C$  and  $G_A$  ( $p < 0.05$ ). No differences were detected between  $G_F$  and  $G_{AFS}$  or between  $G_S$ ,  $G_{AS}$  and  $G_{FS}$  ( $p > 0.05$ ). Other studies on the triglyceride levels of Wistar rats as a function of the type of vegetable oil added to their diets reported  $81 \text{ mg.dL}^{-1}$  for flaxseed oil-based diets,  $70 \text{ mg.dL}^{-1}$  for rapeseed oil,  $66 \text{ mg.dL}^{-1}$  for soybean oil,  $143 \text{ mg.dL}^{-1}$  for olive oil and  $106 \text{ mg.dL}^{-1}$  for diets based on sesame oil (MARQUES et al. 2011, BABA et al., 2002).

Serum total cholesterol and LDL levels were lower in healthy adults that consumed flaxseed and sesame oil, but triglyceride levels were unaffected (CUNNANE et al., 1995). Tzang et al. (2009) reported that the consumption of vegetable oils containing PUFAs reduces triglyceride levels, probably because of increased lipase activity. Oxidation of fats and proteins from lipoproteins and cell membranes decreases fat transport, causing cell damage and developing heart disorders (APPOLINÁRIO et al., 2011). LDL transports cholesterol from the liver to peripheral arterial smooth muscle cells, and high LDL levels can cause cholesterol deposition within the arteries of the heart, a risk factor for the development of heart disease (MOREIRA et al., 2010; LUZIA & JORGE, 2011).

Although humans and other animals can synthesize SFA and MUFA, they lack the enzyme that inserts *cis*-double bounds in position 3 and 6 of fatty acids chain, synthesizing ALA and LA, respectively. Both acids are part of the same metabolic pathway, competing for  $\Delta^6$ -desaturase, but they display different mechanisms of action. ALA exerts a major effect on the modulation of lipoproteins, whereas EPA and DHA decrease the synthesis of triglycerides and adiposity (POUDYAL et al., 2011). Moreover, as an essential fatty acid, ALA can be converted into EPA and DHA, and LA is a direct precursor of pro-inflammatory arachidonic acid (AA).

In the course of evolution, the  $\omega$ -6:  $\omega$ -3 ratio in human diet was probably similar in primordial times, but changes in eating habits, especially the dietary inclusion of LA-rich vegetable oils such as soybean, corn, sunflower, safflower and cotton, increased this proportion in the Western diet to at least 10:1 (POUDYAL et al., 2011). A reduction in the dietary  $\omega$ -6:  $\omega$ -3 ratio can decrease the risk factors for developing metabolic syndrome. The effect of  $\omega$ -6 fatty acids on cardiovascular disease is still controversial. Some studies attribute the cardioprotective properties of  $\omega$ -6 fatty acids to their ability to decrease LDL-c levels, while others argue that the pro-inflammatory action of specific eicosanoids derivated from AA is harmful. Irrespective of the amount of dietary  $\omega$ -6 fatty acid, there is growing acceptance that the inclusion of high levels of metabolically more active ALA and EPA, in addition to DHA, is important in reducing the risks of cardiovascular diseases (BROUGHTON, BAYES & CULVER, 2010).

#### **4. Conclusion**

The experimental diets supplemented with different fat sources increased weight gain compared with controls. Group  $G_{AFS}$  had the highest glucose and  $G_F$  the lowest total cholesterol levels. HDL-c levels in groups  $G_C$ ,  $G_F$ ,  $G_{AS}$  and  $G_{AFS}$  changed significantly. LDL-

c values were significantly different between  $G_A$  and  $G_{AFS}$ , and VLDL-c differed between groups  $G_C$ ,  $G_{AF}$  and  $G_{AFS}$ . The triglyceride levels of  $G_{AF}$  were higher than in the other groups.

Flaxseed and sesame seeds have high lipid content and are a source of PUFA ( $\omega$ -3 and  $\omega$ -6), suggesting they have cardioprotective properties. The nutritional quality of the seed oils assessed using AI, AT, HH, PUFA/SFA and  $\omega$ 6: $\omega$ 3 indexes indicate that sesame oil and flaxseed oils can be consumed as a functional ingredient of human diet.

## Acknowledgements

To the technical-scientific support provided by the *Coordenação de Apoio a Pesquisa de Ensino Superior* (CAPES) and *Universidade Federal de Mato Grosso do Sul* (UFMS).

## 5. References

ALMEIDA, K.C.L.; BOAVENTURA, G.T.; GUZMAN, S.M.A. A linhaça (*Linum usitatissimum*) como fonte de ácido  $\alpha$ -linolênico na formação da bainha de mielina. **Revista de Nutrição de Campinas**, v.22, n. 5, p. 747-754, 2009;

AMERICAN HEART ASSOCIATION. National Heart, Lung and Blood Institute/American Diabetes Association Conference on Scientific Issues Related to Management. **Circulation**, v. 109, p. 551-56, 2004;

ANTONIASSI, R.; ARRIEL, N.H.C.; PEREIRA, D.A.; SZPIZ, R.R. **Avaliação da composição química de cultivares produzidos pela EMBRAPA**. 1997. In: Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos, n. 2, p. 65;

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Ministério da Saúde. Brasília, 1999;

AOCS. American Oil Chemists' Society. Official methods and recommended practices of the AOCS. Champaign, 4. ed., 1998;

APPOLINÁRIO, P.P.; DEROGIS, P.B.M.C.; YAMAGUTI, T.; MIYAMOTO, S. Metabolismo, oxidação e implicações biológicas do ácido docosahexaenoico em doenças neurodegenerativas. **Química Nova**, v. 34, n. 8, 1409-1416, 2011;

ARRIEL, N.H.C.; VIEIRA, D.J.; FIRMINO, P.T. **Situação atual e perspectivas da cultura do gergelim no Brasil**. EMBRAPA, Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas para o Nordeste Brasileiro, 2005;

BABA, N.H.; GHOSSEUB, Z.; HABBA, Z. Differential effects of dietary oils on plasma lipids, lipid peroxidation and adipose tissue lipoprotein lipase activity in rats. **Nutrition Research**, v. 20, n. 8, p.1113-1123, 2002;

BARAKAT, L.A.A.; MAHMOUD, R.H. The antiatherogenic, renal protective and immunomodulatory effects of purslane, pumpkin and flaxseeds on hypercholesterolemic rats. **North American Journal of Medical Sciences**, v. 3, n. 9, p. 351-357, 2011;

BASBAG, S.; TONCER, O.; BASBAG, M. Fatty acid composition of *Linum* spp. collected from southeastern of Turkey. **Chemistry of Natural Compounds** v.45, p.1-3, 2009;

BLIGH, E.G.; DYER, W.J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, n. 37, p. 911-917, 1959;

BROUGHTON, K.S.; BAYES, J.; CULVER, B. High  $\alpha$ -linolenic acid and fish oil ingestion promotes ovulation to the same extent in rats. **Nutrition Research**, v. 30, p.731-738, 2010;

BURDGE, G.C. Metabolism of alpha-linolenic acid in humans. Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids. **Prostaglandins, leukotrienes and essential fatty acids**, v. 75, n. 3, p.161-168, 2006;

CAREY, R.N.; FELBRUEGGE, C.; WESTGARD, J.O. Evaluation of the adaptation of the glucose oxidase/peroxidase-3-methyl-2-benzothiazoline hydrazone-N, N-dimethylaniline

procedure to the technicon SMA 12/60 and comparison with other automated methods for glucose. **Clinical Medicine**, v.20, p.595-602, 1974;

CECCHI, H.M. Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos. Unicamp, Campinas, p.13, 2003;

CHOO, W.; JOHN, B.; DUFOUR JP. Physicochemical and quality characteristics of cold-pressed flaxseed oils. **Journal of Food Composition Analysis**, v. 20, p. 202-211, 2007;

CHUNG, M.W.Y.; LEI, B.; LI-CHAN, E.C.Y. Isolation and structural characterization of the major protein fraction from NorMan flaxseed (*Linum usitatissimum* L.). **Food Chemistry**, v. 90, p. 271-279, 2008;

CORSINI, M.S.; JORGE, N. Estabilidade oxidativa de óleos vegetais utilizados em frituras de mandioca palito congelada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, p. 27-32, 2006;

COSTUNER, Y; KARABABA E. Some physical properties of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 297-305, 2008;

CUNNANE, S.C.; HAMADEH, M.J.; LIEDE, A.C.; THOMPSON, L.U.; WOLEVER, T.M.S.; JENKINS, D.J.A. Nutritional attributes of traditional flaxseed in healthy young adults. **Journal of Clinical Nutrition**, v.61, p. 62-68,1995;

Department of Health and Social Security. **Diet and cardiovascular disease**. Report on Health and Social Subjects, HMSO, London, pp.28, 1984;

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **O agronegócio do gergelim no Brasil**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, pp.325, 2001;

EPAMINONDAS, P.S. Caracterização físico-química e termo-oxidativa das sementes de linhaça (*Linum usitatissimum*) e seus óleos. **Food Chemistry**, n. 77, p. 45-52, 2007;

FERNANDES M.C.A.; SCHIMIDT, G.; NETO, O.E.R.,; BERSANI, C.A.; CUMAN, R.K.N. 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**, v.12, n.2, p.201-207, 2011;

FLEG, H.M. An investigation of the determination of serum cholesterol by an enzymatic method. **Clinical Biochemistry**, v.10, p.79-84, 1973;

GALVÃO, K.C.B.; CALEGARO, C.; RICHTER, C.M.; KLAFKE, J.Z. STEIN, R. Cardiorespiratory fitness of a brazilian regional sample distributed in different tables. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, v. 99, n.3, p. 811-817, 2012;

HAGEN, J.H.; HAGEN, P.B. An enzymatic method for the estimation of glicerol in blood. **Journal of Biochemistry and Physiologic**, 1962;

HARRIS, W.S.; MILLER, M.; TIGHE, A.; DAVIDSON, M.H.; SCHAEFER, E.J. Omega-3 fatty acids and coronary heart disease risk: Clinical and mechanistic perspectives. **Atherosclerosis**, n. 197, p. 12–24, 2008;

HARTMAN, L.; LAGO, R.C.A. Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. **Laboratory Practice**, v. 22, p. 475-494, 1973;

HOLLAND, B.; WELCH, A.A.; UNWIN, I.D.; BUSS, D.H.; PAUL, A.A.; SOUTHGATE, D.A.T. **The composition of foods**. McCance and Widdowson's. Cambridge, 1994, p. 8-9;

INSTITUTE OF MEDICINE. Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein, and amino acids (macronutrients). Washington: National Academy Press; 2005, p.422-541;

KAITHWAS, G.; MAJUMDAR, D.K. Therapeutic effect of *Linum usitatissimum* (flaxseed/linseed) fixed oil on acute and chronic arthritic models in albino rats. **Inflammatory**, p.1-10, 2010;

KAUL, N.; KREML, R.; AUSTRIA, J.A., RICHARD, M.N.; EDEL, A.L.; DIBROV, E.; HIRONO, S.; ZETTLER, M.E.; PIERCE, G.N. A comparison of fish oil, flaxseed oil and

hempseed oil supplementation on selected parameters of cardiovascular health in healthy volunteers. **Journal of the American College of Nutrition**, v. 27, n. 1, p. 51-58, 2008;

KÖKTEN, K.; KOÇAK, A.; BAGÇ, E.; AKÇURA, M.; ÇELİK, S. Tannin, protein contents and fatty acid compositions of the seeds of several *Vicia* L. species from Turkey. **Grasas y Aceites**, n. 61, p. 404-408, 2010;

KRIS-ETHERTON, E. Bioactive compounds in foods: Their role in prevention on 71-cardiovascular disease and cancer. **American Journal of Medicine**, n. 113, p.11-88, 2006;

LUZIA, D.M.M.; JORGE, N. Antioxidant activity, fatty acid profile and tocopherols of *Tamarindus indica* L. seeds. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. V. 31, n. 2, p. 497-501, 2011;

MAIA, E.L.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Avaliação de um método simples e econômico para a metilação de ácidos graxos com lipídios de diversas espécies de peixes. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, n. 53, p. 27-35, 1993;

MARQUES, A.C.; HAUTRIVE, T.P.; MOURA, G.B.; CALLEGARO, M.G.K.; HECKTHEUER, L.H.R. Effect of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) prepared by different methods on the biological response of rats. **Revista de Nutrição**, n. 24, v.1, p.131-141, 2011;

MATHEWS, K.R.; HOMER, D.B.; THIES, F.; CALDER, P.C. Effect of whole linseed (*Linum usitatissimum*) in the diet of finishing pigs of growth performance and on the quality and fatty acids composition of various tissues. **British Journal of Nutrition**, v. 83, p.637-643, 2000;

MCKENNEY, J.M.; SICA, D. Prescription omega-3 fatty acids for the treatment of hypertriglyceridemia. *American Journal of Health System Pharmacy*, n. 64, v. 6, p. 595-605, 2007;

MOREIRA, J.D.; KNORR, L.; THOMAZI, A.P.; SIMÃO, F.; BATTÚ, C.; OSES, J.P.; GOTTFRIED, C.; WOFCHUK, S.; CHRISTIANNE, S.; SOUZA, D.O.; PERRY, M.L.S.;

VINADÉ, L. Dietary omega-3 fatty acids attenuate cellular damage after a hippocampal ischemic insult in adult rats. **Journal of Nutritional Biochemistry**, n. 21, p.351-356, 2010;

MORISE, A; SÉROUGNE C, GRIPOIS D, BLOUQUIT MF, LUTTON C, HERMIER D. Effects of dietary alpha linolenic acid on cholesterol metabolism in male and female hamsters of the LPN strain. **Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 15, p. 51–61, 2004;

NAGAO, K; YANAGITA, T. Bioactive lipids in metabolic syndrome. *Progress in Lipid Research*, 2008, pp.127–146;

ONODY, A.M.; CSONKA, C.; GIRICZ, Z.; FERDINANDY, P. Hyperlipidemia induced by a cholesterol-rich diet leads to enhanced peroxidative formation in rat hearts. **Cardiovascular Research**, v. 58, n. 3, p. 663-670, p. 2005;

ORDOÑEZ-PEREDA, J.A. Lipídeos. In: **Tecnologia dos alimentos: Componentes dos alimentos e processos**. Artmed, São Paulo, 2005, p. 33-49;

PELLIZZON, M.A.; BILLHEIMER, J.T.; BLOEDON, L.A.T.; PHILIPPE, M.S.; SZAPARY, O.; RADER, D.J. Flaxseed Reduces Plasma Cholesterol Levels in Hypercholesterolemic Mouse Models. **Journal of the American College of Nutrition**, v. 26, n. 1, p. 66–75, 2008;

PEIRETTI, P.G.; MEINERI, G.I. Chemical composition, organic matter digestibility and fatty acid content of linseed (*Linum usitatissimum* L.) harvested at five stages of growth. **Journal of Food Science Agricultural**, n. 88, p.1850-1854, 2008;

POUDYAL, H.; PANCHAL, S.K.; DIWAN, V.; BROWN, L. Omega-3 fatty acids and metabolic syndrome: Effects and emerging mechanisms of action. **Progress in Lipid Research**, n. 50, p. 372-387, 2011;

RAMADAN, M.F.; AFIFY, A.M.M.; EL-SAADANY, S.S.; EL-MASRY, R.A.E.F.; EL-SAID, A.A. Changes in Lipid Profile by Vegetable Oil Blends Rich in Polyunsaturated Fatty Acids in Rats with Hypercholesterolemia. **Food Science of Technology Institute**, n. 15, p.119-130, 2009;

RAMESH B. Beneficial effect of substitution of sesame oil on hepatic redox status and lipid parameters in streptozotocin diabetic rats. **International Journal of Science and Nature**, v. 2, n. 3, p. 488 -493, 2011;

RAMOS FILHO, M.M.; RAMOS, M.I.L.; HIANE, P.A.; SOUZA, E.M.T. Perfil lipídico de quatro espécies de peixes da região pantaneira de Mato Grosso do Sul. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, p. 361-365, 2008;

RAPOSO, H.F. Efeito dos ácidos graxos n-3 e n-6 na expressão de genes do metabolismo de lipídeos e risco de aterosclerose. **Revista de Nutrição**, v. 23, n. 5, p. 871-879, 2010;

REEVES, P. G.; NIELSEN, F. H.; FAHEY, G. C. J. AIN-93 Purified Diets for Laboratory Rodents: Final Report of the American Institute of Nutrition Ad Hoc Writing Committee on the Reformulation of the AIN-76A Rodent Diet. **The Journal of Nutrition**, p.1939-1951, 1993;

RESHMA, M.V.; BALACHANDRAN, C.; ARUMUGHAN, C.; SUNDERASAN, A.; SUKUMARAN, D.; THOMAS, S.; SARITHA, S.S. Extraction, separation and characterisation of sesame oil lignan for nutraceutical applications. **Food Chemistry**, v. 120, p.1041-1046, 2010;

ROTHENBURG, H.C.; PEREIRA, F.M. Avaliação dos efeitos da ingestão de sementes de linhaça (*Linum usitatissimum*) em ratos wistar fêmeas hipercolesterolêmicos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 7, p.1-8, 2006;

SAMMOUR, S.H. Proteins of linseed (*Linum usitatissimum*), extraction and characterization by eletrophoresis. **Botanical Academica Sinia**, n. 40, p. 121-126, 2007;

SANTOS, J.S.; BESSA, R.J.B.; SANTOS, F.S. Effect of genotype, feeding system and slaughter weight on the quality of light lambs. II. Fatty acid composition of meat. **Livestock Product Science**, n. 77, p. 187-194, 2002;

SENER, A.; ZHANG, Y.; BULUR, N.; LOUCHAMI, K.; MALAISSE, W.J.; CARPENTIER, Y.A. The metabolic syndrome of omega3-depleted rats II. Body weight, adipose tissue mass and glycemic homeostasis. **International Journal of Molecular Medicine**, v. 24, p.125–129, 2009;

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ANGIOLOGIA E CIRURGIA VASCULAR. **SBACV**, v.7, n.2, 2005;

STODOLNIK, L.; STAWICKA, A.; SZCZEPANIK, G.; AUBOURG, S.P. Rancidity inhibition study in frozen whole mackerel (*Scomber scombrus*) following flaxseed (*Linum usitatissimum*) extract treatment. **Grasas y Aceites**, n. 56, p. 198-204, 2005;

ULBRICHT, T.L.V.; SOUTHGATE, D.A.T. Coronary heart disease: seven dietary factors. **Lancet**, n. 338, p. 985-992, 1991;

ÜNAL, M.K.; YALÇIN, H. Proximate composition of Turkish sesame seeds and characterization of their oils. **Grasas y Aceites**, n. 59, p. 23-26, 2008;

USDA. United States Department of Agriculture. National nutrient database for standard reference, release 19. [cited 2006]. Available from: <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/>;

UZUN, B.; ARSLAN, C.; KARHAN, M.; TOKER, C. Fat and fatty acids of white lupin (*Lupinus albus* L.) in comparison to sesame (*Sesamum indicum* L.). **Food Chemistry**, n. 102, p. 45-49, 2007;

VIJAIMOHAN, K.; MALLIKA, J.K.E.; SABITHA, S.; SUBRAMANIAM, C.; ANANDHAN, C.S.; SHYAMALA, D. Beneficial effects of alpha linolenic acid rich flaxseed oil on growth performance and hepatic cholesterol metabolism in high fat diet fed rats. **Life Science**, n. 79, p. 448-454, 2006;

WAITZBERG, D.L.; BORGES, V. **Gorduras**. Nutrição Oral, Enteral e Parenteral na Prática Clínica. 2005. São Paulo, p. 64-67;

WHELAN, J.; RUST, C. Innovative dietary sources of n-3 fatty acids. **Revista de Nutrição**, n. 26, p. 75-103, 2006;

WHEREAT, A.F.; RABINOWITZ, J.L. Aortic mitochondrial synthesis of lipid and its response to cholesterol feeding. **American Journal of Cardiology**, v. 35, n. 4, p. 567–571, 2006;

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Joint Consultation: fats and oils in human nutrition. **Nutrition Review**, n. 53, p. 202-205, 1995;

YEN, G.C.; LAY, S.H. Oxidative stability of instant noodles fried with sesame oil-vegetable oil blends. **Journal of Chinese Agriculture Chemical Society**, n. 2, p. 196-201, 1990.