

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AGRARIAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA  
MESTRADO EM ZOOTECNIA

KARLA MIKY TSUJII

**DESEMPENHO PRODUTIVO, PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS E QUALIDADE  
DA CARNE DA TILÁPIA DO NILO ALIMENTADA COM DIETA  
SUPLEMENTADA COM ÓLEO DE SOJA OU DE LINHAÇA**

PONTA GROSSA

2018

KARLA MIKY TSUJII

**DESEMPENHO PRODUTIVO, PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS E QUALIDADE  
DA CARNE DA TILÁPIA DO NILO ALIMENTADA COM DIETA  
SUPLEMENTADA COM ÓLEO DE SOJA OU DE LINHAÇA**

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM ZOOTECNIA, no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Ponta Grossa - Área de Concentração: Produção Animal.

Orientador: Prof. Dr. Wilson Massamitu Furuya

PONTA GROSSA

2018

Ficha Catalográfica Elaborada pelo Setor Tratamento da Informação BICEN/UEPG

T882 Tsujii, Karla Miky  
Desempenho produtivo, perfil de ácidos graxos e qualidade da carne da tilápia do nilo alimentada com dieta suplementada com óleo de soja ou de linhaça / Karla Miky Tsujii, Ponta Grossa, 2018. 81f.

Dissertação (Mestrado em Zootecnia – Área de concentração – Produção Animal), Universidade Estadual de Ponta Grossa.  
Orientador: Prof. Dr. Wilson Massamitu Furuya.

1.  $\alpha$ -linolênico. 2. Alimento funcional. 3. Tempo de prateleira. 4. Razão n-6/n-3 . I. Furuya, Wilson Massamitu. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Mestrado em Ciências Farmacêuticas. III. T.

CDD : 636.085.2

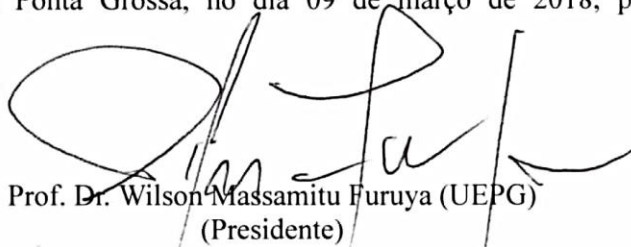


## TERMO DE APROVAÇÃO

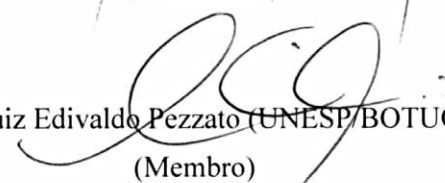
KARLA MIKY TSUJII

**“DESEMPENHO PRODUTIVO, PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS E QUALIDADE DA CARNE DA TILÁPIA DO NILO ALIMENTADA COM DIETA SUPLEMENTADA COM ÓLEO DE SOJA OU DE LINHAÇA”**


Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Zootecnia – Mestrado em Zootecnia, Setor de Ciências Agrárias e Tecnologia da Universidade Estadual de Ponta Grossa, no dia 09 de março de 2018, pela seguinte banca examinadora:



Prof. Dr. Wilson Massamitu Furuya (UEPG)  
(Presidente)



Prof. Dr. Luiz Edivaldo Pezzato (UNESP/BOTUCATU)  
(Membro)



Prof. Dr. Cheila Roberta Lehnen (UEPG)  
(Membro)

Ponta Grossa, 09 de março de 2018.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu pai, Kiyosi Tsujii, por sempre me dar apoio, ser meu anjo da guarda e minha inspiração. À você, dedico toda minha admiração e amor;

À minha família, que sempre me apoiou em todos os momentos, comemoraram as minhas vitórias e fizeram das minhas alegrias as suas;

Ao meu orientador, Prof. Dr. Wilson Massamitu Furuya, por ser um exemplo de dedicação ao trabalho, lealdade, ensinamentos passados a todos seus orientados e incentivos a ser melhor a cada dia. Muito obrigada pela honra da orientação;

Agradeço aos membros do grupo de pesquisa GPA- *Fish Nutrition*, pela amizade, companheirismo e aprendizagens mútuas. Por toda a ajuda no período experimental e análises realizadas;

À Dra Valéria Furuya e Dra Mariana Michelato, por sua dedicação e ajuda para que tudo ocorresse corretamente;

À Dra Marina Tolentino Marino, do Departamento de Engenharia de Alimentos da UEPG, pelas análises de qualidade da carne;

À Dra Lilian Dena, pela ajuda nas realizações das análises de perfil de ácidos graxos;

Ao M.Sc. Johnny Martins, pelos incansáveis dias na realização das análises estatística;

Aos amigos conquistados em Ponta Grossa-PR, Bianca, Tânia, Fabrício, Johnny e Marcel. Vocês por muitas vezes foram a minha família e eu jamais esquecerei todo apoio e alegria que vocês me proporcionaram.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa- UEPG e aos professores do Programa de Pós-Graduação-PPZ, por toda dedicação e conhecimentos adquiridos durante nas disciplinas cursadas;

À CAPES, pelo auxílio financeiro da bolsa de mestrado;

Ao Sr. Sérgio Sozim, proprietário da Chácara Sozim, pela liberação da área para realização do experimento e apoio durante a execução;

A todos que de alguma forma contribuíram para que tudo se tornasse realidade.

**OBRIGADA!**

*“É certo que irás encontrar situações tempestuosas novamente,  
Mas haverá de ver sempre o lado bom da chuva que cai  
E não a faceta do raio que destrói.”*

*Charles Chaplin*

## RESUMO

TSUJII, Karla Miky. **Desempenho produtivo, perfil de ácidos graxos e qualidade da carne da tilápia do nilo alimentada com dieta suplementada com óleo de soja ou de linhaça.** 2018. 81. Dissertação de Mestrado em Zootecnia – Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, 2018.

O óleo de linhaça tem se destacado como alimento funcional para humanos, sendo a fonte mais rica de ácido graxo  $\alpha$ -linolênico. Quatro dietas isentas de farinha de peixe foram formuladas para serem isoproteicas (321,2 g/kg de proteína bruta), isocalóricas (17,1 Mcal/kg de energia bruta) e isolipídicas (73,1 g/kg de lipídios totais), contendo duas fontes de óleos vegetais (óleo de soja ou óleo de linhaça) suplementadas em dois níveis (15 ou 30 g / kg). Foram distribuídos ao acaso 144 peixes ( $1076,3 \pm 37,2$  g) em esquema fatorial 2x2, em 12 gaiolas flutuantes de 1000 L cada, alimentadas manualmente até saciedade aparente. Observou-se maior aumento de peso, consumo de ração e melhor conversão alimentar em peixes alimentados com 30 g/kg de óleo de linhaça em comparação com peixes alimentados com 15 e 30 g/kg de óleo de soja. O rendimento de filé foi maior em peixes alimentados com 30 g/kg de óleo de linhaça em relação aos peixes alimentados com 30 g/kg de óleo de soja. Não foram observadas diferenças no peso corporal inicial, índice hepatossômico e composição próxima dos filés. Peixes alimentados com 30 g/kg de óleo de linhaça apresentaram maior teor de 18:3 n-3 e menor teor de 18:2n-6 nos filés em comparação com peixes alimentados com 15 e 30 g/kg de óleo de soja. As maiores somas de SFA, MUFA e AG n-3 foram observados em filés de peixes alimentados com 15 g/kg de óleo de soja. Peixes alimentados com 30 g/kg de óleo de linhaça apresentaram maiores somas de ácidos graxos PUFA e de ácidos graxos n-3 nos filés. Filés de peixes alimentados com óleo de linhaça apresentaram menor relação de ácidos graxos n-6/n-3 em comparação com peixes alimentados com óleo de soja. A cor, capacidade de retenção de água, pH e a dureza dos filés não foram afetados. A adesividade dos filés analisada um e sete dias *pós mortem* foi maior em peixes alimentados com óleo de linhaça, enquanto observou-se menor mastigabilidade em filés de peixes alimentados com 30 g/kg de óleo de soja e de linhaça em relação aos peixes alimentados com 15 g/kg de óleo de soja e linhaça. Em conclusão, o óleo de linhaça demonstrou ser um alimento funcional como fonte de AG  $\alpha$ -linolênico e para aumentar a relação de ácidos graxos n-6/n-3 nos filés. Além disso, recomenda-se 30 g/kg de óleo de

linhaça em dietas de terminação para melhorar o desempenho produtivo de tilápias do Nilo em terminação.

**Palavras- Chave:**  $\alpha$ -linolênico, alimento funcional, tempo de prateleira, razão n-6/n-3



## ABSTRACT

TSUJII, Karla Miky. **Growth performance, fatty acid profile and meat quality of Nile Tilapia fed with diets supplemented with soybean oil or linseed.** 2018. 81. Master's Dissertation in Animal Science. State University of Ponta Grossa. Ponta Grossa. 2018.

Linseed oil has emerging as functional food for human being one richest source of  $\alpha$ -linolenic fatty acid. Four fishmeal-free diets were formulated to be isonitrogenous (321.2 g/kg of crude protein), isocaloric (17.1 Mcal/kg of gross energy) and isolipidic (73.1 g/kg of total lipids), containing two sources of vegetable oils (soybean oil or linseed oil) supplemented at two levels (15 or 30 g/kg). A hundred and forty-four fish ( $1076.3 \pm 37.2$  g) were distributed in a completely randomized in a 2x2 factorial scheme, into twelve 1000 L each floating cage, hand fed until apparent satiety and reared at 18 to 24 °C, during 6 wk. Higher weight gain, feed intake and improved feed conversion ratio were observed in fish fed 30 g/kg of linseed oil compared to fish fed 15 and 30 g/kg of soybean oil. Fillet yield of fish fed 30 g/kg of linseed oil was higher compared to observed in fish fed 30 g/kg of soybean oil. No differences on initial body weight, hepatosomatic index and proximate composition of fillets were observed. Fish fed 30 g/kg of linseed oil showed higher 18:3 n-3 and lower 18:2 n-6 content in the fillets compared to fish fed 15 and 30 g/kg of soybean oil. Higher sum of SFA, MUFA and n-3 FA were observed in fillets of fish fed 15 g/kg of soybean oil. Fish fed 30 g/kg of linseed oil showed higher sum of PUFA and sum of n-3 fatty acids in the fillets. Fillet of fish fed linseed oil showed lower ratio of n-6/n-3 fatty acids compared to fish fed soybean oil. Color, water holding capacity, pH and hardness of fillets were not affected. The adhesiveness of fillets analyzed at one and seven days *post-mortem* was increased in fish fed linseed oil, while lower chewiness was observed in fillet of fish fed 30 g/kg of soybean or linseed oil compared to observed in fish fed 15 g/kg of soybean or linseed oil. In conclusion, linseed oil was demonstrated to be functional food as  $\alpha$ -linolenic source to enhance n-6/n-3 ratio of the fillets. In addition, linseed oil at 30 g/kg is recommended in finishing diets

**Keywords:**  $\alpha$ - linolenic, functional food, shelf- life, n-6/n-3 ration

## LISTA DE FIGURAS

1.1	Biossíntese dos ácidos graxos de cadeia longa PUFA a partir de precursores ácido linoleico e ácido linolênico.....	20
1.2	CIE L * a * b * Diagrama de espaço de cores.....	27
2.1	Body weight of Nile tilapia fed diets containing different vegetable oils sources (SO = soybean oil or LO = linseed oil) and levels (15 or 30 g kg).....	61
2.2	Fillet yield of Nile tilapia fed diets containing different vegetable oils sources (SO = soybean oil or LO = linseed oil) and levels (15 or 30 g kg).....	61
2.3	Contents of $\alpha$ -linolenic (18:3n-3) in the fillets of Nile fed diets containing different vegetable oils sources (SO = soybean oil or LO = linseed oil) and levels (15 or 30 g kg).....	65
2.4	Relationship between $\omega$ -3/ $\omega$ -6 fatty acids in the fillets of Nile tilapia fed diets containing soybean oil or linseed oil.....	65

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1	Composição de ácidos graxos de óleos vegetais utilizados na alimentação de peixes.....	22
Table 2.1	Diet formulation and analyzed proximate composition of diets containing different vegetable oils sources and level.....	54
Table 2.2	Fatty acids composition (g/100 g of fatty acids) of diets containing different vegetable oils sources and levels <sup>1</sup> .....	55
Table 2.3	Growth performance of Nile tilapias fed diets containing different vegetable oils sources and levels <sup>1</sup> .....	60
Table 2.4	Fillet composition (g/100g) of Nile tilapias fed diets containing different vegetable oils sources and levels <sup>1</sup> .....	63
Table 2.5	Fatty acids contents (g/100 g of fatty acids) in the fillets of Nile tilapia fed diets containing different vegetable oils sources and levels <sup>1</sup> .....	64
Table 2.6	Fillet quality of Nile tilapia one-day <i>post-mortem</i> of Nile tilapia fed diets containing different vegetable oils sources and levels <sup>1</sup> .....	67
Table 2.7	Fillet quality of Nile tilapia seven-days <i>post-mortem</i> of Nile tilapia fed diets containing different vegetable oils sources and levels <sup>1</sup> .....	68

## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – REVISÃO DE LITERATURA.....	13
1.1 INTRODUÇÃO.....	13
1.2 PANORAMA DA TILAPICULTURA.....	15
1.3 LIPÍDIOS NA NUTRIÇÃO DE PEIXES.....	16
1.4 ÁCIDOS GRAXOS.....	18
1.4.1 Ácidos graxos essenciais.....	21
1.5 QUALIDADE DA CARNE.....	24
1.5.1 Cor.....	26
1.5.2 Capacidade de retenção de água.....	29
1.5.3 potencial Hidrogeniônico (pH) .....	30
1.5.4 Textura.....	31
1.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34
CHAPTER 2 - ARTICLE.....	50
ABSTRACT.....	51
2.1 INTRODUCTION.....	52
2.2 MATERIAL AND METHODS.....	53
2.2.1 Ethics statement.....	53
2.2.2 Experimental diets.....	53
2.2.3 Fish husbandry and sampling.....	56
2.2.4 Calculations.....	56
2.2.5 Proximate composition and fatty acid analysis.....	56
2.2.6 Meat quality.....	58
2.2.7 Experimental design and statistical analysis.....	58
2.3 RESULTS.....	59
2.3.1 Growth performance.....	59
2.3.2 Proximate composition and fatty acids profile.....	62
2.3.2 Meat quality.....	66
2.4 DISCUSSION.....	69
2.5 REFERENCES.....	73
CAPÍTULO 3- CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	81

## CAPÍTULO 1

### REVISÃO DE LITERATURA

#### 1.1 INTRODUÇÃO

De acordo com a FAO (2016), entre as espécies de água doce, a tilápia do Nilo é a segunda espécie mais cultivada mundialmente, ficando atrás apenas das carpas. No primeiro trimestre de 2017, a produção nacional foi de aproximadamente 182 toneladas, e a maior parte do produto foi exportado principalmente para os EUA (EMBRAPA, 2017). A espécie se destaca das demais principalmente pela sua capacidade de crescimento em situações ambientais adversas, como variações de temperatura, pH e oxigenação da água (EL-SAYED, 2006). Em 2013, os peixes representaram cerca de 17% da ingestão de proteína animal da população mundial e 6,7% de todas as proteínas consumidas (FAO, 2016). O filé de pescado, além de ser uma fonte proteica de alta qualidade, é rico em ácidos graxos insaturados da família ômega 3 (n-3) e ômega 6 (n-6), considerados essenciais, que devem ser adquiridos através da alimentação, trazendo benefícios à saúde, fornecendo também vitaminas e minerais (SIMOPOULOS, 2008). Estudos comprovam que o consumo de peixe previne o desenvolvimento de doenças cardiovasculares e distúrbios inflamatórios, pois são ricos em ácidos graxos poli-insaturados n-3 (n-3 PUFA), como eicosapentaenóico (EPA, 20:5 n-3) e ácidos docosahexaenóico (DHA, 22:6 n-3) (CONTRERAS-GUZMÁN, 1994; SIMOPOULOS et al., 2008; JOENSEN et al., 2010).

A tilápia é considerada um peixe de carne magra, sendo apreciada principalmente por sua carne saborosa e ausência de espinhos em “Y”, tem hábito alimentar onívoro, aceitando bem fontes lipídicas de origem vegetal. Os lipídios são importantes componentes da dieta, melhorando o desempenho e a saúde do animal, além de aumentar a palatabilidade da ração, fornecer energia e ácidos graxos essenciais de maneira eficiente (SAKOMURA et al. 2014), no entanto, a incorporação de ácidos graxos na dieta, podem causar o acúmulo excessivo de gordura, influenciar no metabolismo animal e a composição de carcaça (RIBEIRO et al. 2007a), refletindo no perfil de ácidos graxos final. Por esse motivo, é importante ter o conhecimento das exigências nutricionais da espécie e a composição nutricional do alimento. De acordo com o NRC (2011), a

tilápia do Nilo tem maior exigência em ácidos graxos PUFAs n-6 em comparação aos ácidos PUFAs n-3 para o máximo crescimento.

Os peixes de água doce possuem a capacidade de bioconversão dos ácido  $\alpha$ -linolênico (ALA- 18:3 n-3) para ácido eicosapentaenóico e ácido decosaheptaenóico, e a conversão do ácido linoleico (LA- 18:2 n-6) para ácido araquidônico (ARA – 20:4 n-6), ambas pelas vias enzimáticas de dessaturação e alongação (TURCHINI et al., 2011). Por conta dessa capacidade de bioconversão dos ácidos ALA e LA, as fontes de ácidos graxos de origem vegetal podem ser incorporadas nas dietas de peixes sem afetar o desempenho e sobrevivência dos animais (BAHURMIZ; NG, 2007). Entre as mais utilizadas estão o óleo de soja, que é rico em ácidos graxos monoinsaturados e poli- insaturados ômega-6 (PUFAs n-6), e o óleo de linhaça, que é fonte de ácidos graxos poli-insaturados ômega-3 (PUFAs n-3) (RIBEIRO et al., 2007b).

Segundo Justi et al. (2003), a incorporação de PUFAs n-3 nos filés é diretamente influenciada pela dieta e o tempo de alimentação (30 dias). Em contrapartida, Tonial et al. (2009) demonstraram que 45 dias é o período de tempo mais curto necessário para a inclusão de óleo de linhaça na alimentação de tilápia para aumentar o valor nutricional (proporção n-6 para n-3 do tecido muscular) da tilápia do Nilo adulto e a alimentação intensiva agregada com uma baixa densidade, resulta em um conteúdo lipídico muscular de 9-10%. Molna'r et al. (2012), trabalhando com suplementação de dieta basal com 5% de óleo de soja, 5% de óleo de linhaça ou 5% de óleo de peixe, verificaram que os ácidos graxos foram devidamente incorporados nos tecidos musculares e lipídios totais, no entanto, não teve efeito no metabolismo adicional de ácidos graxos.

O tamanho mais frequente de abate de tilápias no Brasil é de 700 a 800 g, produzindo filés de aproximadamente 100 g, sendo que o tamanho do filé e o acabamento são fatores que influenciam no valor e a aceitação do produto no mercado (BARROSO et al., 2016). A qualidade dos alimentos é avaliada pelos seus atributos sensoriais (cor, maciez, sabor, suculência, odor), funcionais (pH, capacidade de retenção de água) e nutricionais (quantidade de deposição de gordura, perfil de ácidos graxos, nível de oxidação, teores de proteína, vitamina e minerais) (SOHN; OHSHIMA, 2010), sendo fatores utilizados para sua aceitação ou recusa pelos consumidores (ORDOÑEZ et al., 2005). Os aspectos sensoriais e nutricionais da carne, que dependem da composição física- química do peixe, que podem ser afetados por inúmeros fatores, como por exemplo: características intrínsecas (espécie, idade e sexo), condições ambientais

(temperatura, salinidade), alimentação e composição da dieta (GRIGORAKIS, 2007). Visto que o filé é o principal produto comercializado proveniente do processamento de tilápias, a composição muscular é um importante aspecto de qualidade em filés de peixes e mudanças na aparência e composição podem acarretar consequências para o marketing (GRIGORAKIS, 2007). Com isso, a nutrição de peixes influencia de forma direta vários aspectos relacionados à qualidade da carne do pescado como textura, cor, aroma, sabor, valor nutricional, tempo de prateleira e nível de contaminantes (BOYD, 2015).

Neste aspecto, há buscas constantes por ingredientes de boa qualidade a baixo custo, que permitam a formulação de dietas nutricionalmente completas e adicionem atributos desejáveis à carne (CYRINO et al., 2010), sem afetar o desempenho e saúde dos peixes.

## 1.2 PANORAMA DA TILAPICULTURA

Tilápia é um nome genérico usado em comum para um grande número de espécies da Família Cichlidae constituídos particularmente por três gêneros: *Tilapia*, *Sarotherodon* e *Oreochromis* (MCANDREW, 2000). O gênero *Oreochromis* é o mais cultivado, e 90% desse cultivo é proveniente da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), que apresentam principal hábito alimentar onívoro (WANG; LU, 2015). As tilápias são nativas do Oriente Médio e África e foram introduzidas em diversos países tropicais e subtropicais a partir da década de 1960 de forma acidental ou deliberada (SURESH; BHUJEL, 2005). A primeira espécie introduzida no Brasil foi a tilápia do Congo (*Tilapia rendalli*), seguidas então da tilápia de Zanzibar (*Oreochromis urolepis hornorum*) e da tilápia do Nilo no nordeste brasileiro, em 1971 (ZIMMERMANN; FITZSIMMONS, 2004).

No Brasil, existem linhagens melhoradas geneticamente, adaptadas às nossas condições para atender ao mercado, que são elas: Tilápia Tailandesa ou Chitralada, que chegou ao Brasil em 1996, registrada no país como Supreme Tilápia Aquabel; e as tilápias de linhagem *Genetic Improved Farmed Tilapia* (GIFT), introduzidas em 2005; e *Genetically Male Tilapia* (GMT®) que são conhecidas como “Supermachos” por serem machos com genótipo “YY”, concebendo somente alevinos machos, apresentando duas variedades, a Tilápia Prateada GMT®, proveniente de variedades selecionadas na África

do Sul, e a Tilápia Vermelha GMT® proveniente de uma espécie pura de *O. niloticus* vermelha (SCORVO et al., 2010).

A tilápia do Nilo é o segundo peixe mais cultivado no mundialmente, ficando atrás apenas das carpas, sendo o primeiro mais produzido no Brasil, (FAO, 2016). A tilápia se caracteriza por ser uma espécie rústica, resistente a doenças e ao estresse, além disso, atinge o peso comercial em menos tempo comparado a outras espécies, sendo apropriadas para a cultura em países em desenvolvimento, de clima tropical e subtropical (MOREIRA et al., 2001; BORGHETTI et al., 2008).

No Brasil, a exportação de tilápias no primeiro trimestre de 2016 totalizou 188,8 toneladas de peixe, no valor aproximado de USD 1.5 milhões, assim ultrapassando o total anual alcançado em 2015, que foi de 5 toneladas no valor de USD 49.500. Os EUA continuam sendo o principal comprador de tilápia do Brasil, importando principalmente filé fresco, representando 93% do volume total (BARROSO et al., 2016). Em 2017, a produção brasileira de tilápia foi de aproximadamente 357 toneladas, colocando o Brasil entre os quatro maiores produtores do mundo, atrás apenas da China, Indonésia e Egito (PEIXE BR, 2018). O estado do Paraná é o maior produtor brasileiro de tilápia, com a espécie representando cerca de 94% da produção total de peixes cultivados, com produção aproximada de 105 toneladas. O cultivo de tilápia também está presente em maior proporção de produção no estado de São Paulo (95% do total), em Santa Catarina (74% do total), Minas Gerais (95% do total) e na Bahia (81% do total). Esses estados, são os cinco maiores produtores brasileiros, representando 64,9% da produção nacional (PEIXE BR, 2018).

### **1.3 LIPÍDIOS NA NUTRIÇÃO DE PEIXES**

Os peixes são classificados como animais ectotérmicos, cuja temperatura corporal varia de acordo com alterações de temperatura no meio em que vivem (SCHMIDT-NIELSEN, 1999). Assim, os peixes apresentam oscilações no seu metabolismo de acordo com a temperatura ambiente, que por esse motivo, nem sempre o balanço energia/nutriente para determinada espécie será adequada para outra (FRACALLOSSI et al., 2012).

O balanceamento de nutrientes e a alimentação estão relacionados com a produtividade e eficiência econômica, promovendo o bem-estar e a saúde dos peixes



(LUNDSTEDT et al., 2016). A adequada alimentação é importante para garantir a homeostase e o desempenho produtivo, garantindo produto final de boa qualidade ao consumidor.

Ao se formular uma dieta, deve-se buscar um balanço nutricional dos componentes para o crescimento muscular, manutenção, saúde (NRC, 2011) e evitar o desperdício energético. Na piscicultura, a alimentação representa 40 a 70% do total da produção (WATANABE et al, 2002; EL-SAYED, 2006), os peixes exigem de pelo menos 44 nutrientes, incluindo aminoácidos essenciais, carboidratos para produção de energia, ácidos graxos essenciais, vitaminas e minerais (KUBITZA, 1999). Para se obter uma dieta balanceada, deve-se ter conhecimento da composição e valor nutritivo dos alimentos, assim como conhecer os fatores antinutricionais presentes no alimento (PEZZATO et al., 2004), além disso, conhecer as exigências nutricionais da espécie. Mesmo a tilápia sendo uma espécie cultivada em todo o mundo, com muitos estudos voltados as exigências nutricionais, os valores determinados necessitam ser revistos, uma vez que os sistemas de produção foram aprimorados e os animais passaram por seleção genética, na qual suas exigências nutricionais foram alteradas (DIANE et al., 2009). Nos últimos anos, além do desempenho produtivo, a qualidade de carne tem sido considerada, principalmente objetivando melhorar o perfil de ácidos graxos da carne dos peixes.

A incorporação de óleos vegetais em dietas de peixe está se tornando cada vez mais comum em substituição ao óleo de peixe, pois além de serem mais viáveis e prontamente disponíveis, apresentam maior resistência a peroxidação lipídica (TURCHINI et al., 2009; NG et al., 2013), promovendo uma elevação na taxa de eficiência proteica, conseqüentemente diminuindo a excreção de nitrogênio no meio ambiente, assim, proporcionando uma redução no efeito poluente da dieta (RIBEIRO et al., 2007b).

A substituição parcial ou total do óleo de peixe por óleo vegetal nas dietas, não afeta o desempenho, desde que as exigências em ácidos graxos dos peixes sejam atendidas (TURCHINI et al., 2009; NG; WANG, 2011). No entanto, as fontes lipídicas alternativas são deficientes em AG altamente insaturados (HUFA), com 20 carbonos ou mais.

Lipídios alternativos em dietas de tilápia, proporcionam crescimento similar quando incorporadas em substituição ao óleo de peixe (BAHURMIZ; NG, 2007; NG et al., 2004; TEOH et al., 2011). Porém, uma vez que estas fontes lipídicas de óleos vegetais

são geralmente deficientes em AG fisiologicamente importantes, HUFAs, tais como ácido araquidônico (*Arachidonic acid* – ARA, 20:4 n-6), ácido eicosapentaenóico (*Eicosapentaenoic acid* - EPA, 20:5 n-3) e ácido docosahexaenóico (*Docosahexaenoic acid* DHA, 22:6 n-3), o perfil final de ácidos graxos dos filés pode ser impactado negativamente (IZQUIERDO et al., 2005). A modificação do perfil de ácidos graxos nos filés de peixes, incluem a redução de HUFA- n-3, em particular do ácido EPA (IZQUIERDO et al., 2005). O consumo de alimentos ricos HUFA- n-3, principalmente presentes nos peixes, é de efeito positivo na saúde humana, atuando na prevenção de doenças cardiovasculares e na imunidade.

#### 1.4 ÁCIDOS GRAXOS

Os lipídios são um grupo de compostos quimicamente diversos, formados a partir da esterificação ácidos graxos e um grupo éster (NELSON; COX, 2014). A característica comum entre eles é a insolubilidade em água e sua principal função é ser fonte e reserva de energia, além de desempenharem diversas funções biológicas de acordo com sua natureza química, na forma de cofatores enzimáticos, transportadores, hormônio (NELSON; COX, 2014), entre outros. Gorduras e óleos são as principais formas de armazenamento de energia, enquanto os fosfolipídios participam como principais elementos estruturais das membranas biológicas. Quando apresentam somente ligações simples, são classificados como saturados (gorduras), e com uma ou mais duplas ligações, insaturados (óleos) (NELSON; COX, 2014; SILVA et al., 2014).

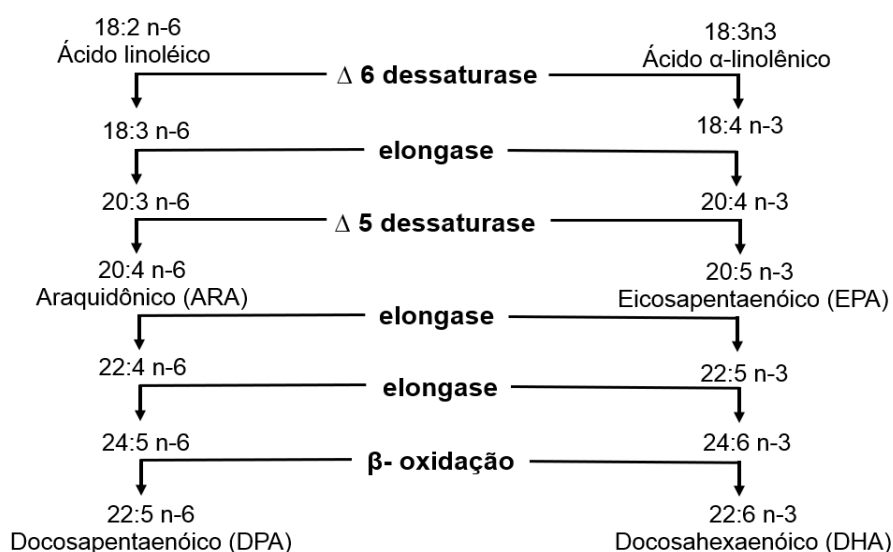
Os lipídios classificados como ômega 3 (n-3) e ômega 6 (n-6), são AG que apresentam insaturações separadas por um carbono metileno, e são enumerados a partir do grupo metil terminal juntamente com a primeira insaturação no carbono correspondente (NELSON; COX, 2014). As séries de n-3 e n-6 são formadas por ácidos graxos poliinsaturados (PUFA), que contém 18 carbonos ou mais e podem conter duas ou mais duplas ligações. O n-3 tem como precursor o ácido  $\alpha$ -linolênico (ALA, 18:3 n-3), ácido eicosapentaenóico e o ácido docosahexaenóico. Já o n-6, tem como precursor o ácido linoleico (CLA, 18:2 n-6) e o ácido araquidônico (MARTIN et al., 2006).

Os lipídios presentes na dieta agem sobre a ressíntese lipídica e no perfil de ácidos graxos depositados no tecido, influenciando na diminuição da lipogênese nos tecidos adiposos e hepáticos, melhorando a composição lipídica na carcaça dos animais

(NIELSEN et al., 2005). Segundo Araújo et al. (2013), mudanças na composição lipídica da dieta, causam alterações na biossíntese de ácidos graxos, assim causando alterações na composição de ácidos graxos nos tecidos, por afetar a expressão de genes relacionadas a síntese de ácidos graxos. O processo bioquímico de alongamento de ácidos graxos é um processo microsomal, sendo realizado por enzimas específicas, onde ocorre uma reação de condensação do ácido graxo precursor com a malonil-CoA gerando uma cadeia h-cetoacil e posteriormente ocorrendo a hidrogenação (NELSON; COX, 2014). O alongamento e dessaturação são processos importantes, principalmente na regulação da fluidez das membranas e para a síntese de vários precursores derivados dos ácidos graxos, como os eicosanoides (CINTI et al., 1992).

Os AG classificados como essenciais, são aqueles que não são produzidos bioquimicamente pelo organismo e devem ser obtidos na dieta. Diferente de outros vertebrados, os peixes não são capazes de sintetizar ácidos graxos HUFA, das séries n-3 e n-6, sendo assim fornecidos na dieta de acordo com a exigência da espécie e sua capacidade de modificar esses ácidos graxos metabolicamente, a tilápia do Nilo, por sua vez, necessita do ácido linoleico para máximo crescimento e eficiência alimentar (NRC, 2011).

O óleo de peixe possui abundância única em ácidos graxos linolênico da série HUFA- n-3, que desempenham papéis importantes na estrutura e funcionalidade no metabolismo de peixes (IZQUIERDO et al., 2015). Os óleos vegetais, são ricos em ácidos graxos poli- insaturados (18C- PUFA) e desprovidos de HUFA (n-3) (LEAVER et al., 2008), a adição de fontes de ácido linoleico e ácido  $\alpha$ -linolênico nas dietas é de grande importância, uma vez que peixes de água doce apresentam capacidade de fazer a bioconversão de ácido graxo - PUFA (FIGURA 1), por possuírem grande atividade das enzimas elongases e dessaturases que atuam na produção de HUFAs a partir de precursor do 18C de ALA, que pode ser encontrado no óleo de linhaça, comumente utilizado em dietas de peixes (IZQUIERDO et al., 2005; IZQUIERDO et al., 2015).



Adaptado de Nelson e Cox, 2014

FIGURA 1.1 - Biossíntese dos ácidos graxos de cadeia longa PUFA a partir de precursores ácido linoleico e ácido linolênico

Os lipídios dietéticos compõem os elementos indispensáveis ao melhor desempenho e a saúde do animal, no entanto, o efeito sobre a qualidade final do produto para consumo humano tem sido frequentemente questionado (SILVA et al., 2014). Para que a incorporação de óleo vegetal na dieta sejam eficientes, é necessário entender as interações nutricionais desses dois ácidos graxos essenciais, que são abundantes em óleo vegetal e podem promover alterações na composição final de ácido graxo nos filés de peixe (SENADHEERA et al., 2010).

Os ácidos graxos da série n-3 são componentes essenciais das membranas celulares (LEHNINGER, 2014), sendo os peixes a principal fonte dietética de n-3 (WILLIAMS et al., 2017). Esses lipídios estão associadas a uma variedade de benefícios para a saúde ocular, neural e cardiovascular (SIMOPOULOS et al., 2008; JOENSEN et al., 2010) principalmente os ácidos graxos EPA e DHA (GUMPRICHT; ROCKWAY, 2013). A deficiência de ácidos graxos essenciais pode causar efeitos adversos para a saúde em humanos e peixes (HENDERSON; TOCHER, 1987; KRIS-ETHERTON et al., 2009).

Os peixes são as principais fontes de HUFA- n-3 na dieta humana, e está associada a diversos benefícios para a saúde, devido a isso, há uma expansão na produção de pescado, para atender a demanda e o consumo (MOURENT; BELL, 2006). Com o crescimento atual no cenário da aquicultura, está sendo cada vez mais pesquisado fontes alternativas de óleos que não prejudiquem o meio ambiente, que sejam viáveis economicamente e não afetem o desempenho produtivo (AL-SOUTI et al., 2012). Diante disso, fontes lipídicas de origem vegetal têm sido incorporadas nas dietas de peixes em substituição ao óleo de peixe, além de serem sustentáveis, estão prontamente disponíveis e de menor custo.

#### **1.4.1 Ácidos graxos essenciais**

A tilápia do Nilo utiliza de forma eficiente os lipídios como fonte de energia (SARGENT et al., 2005). Sendo assim, o nível de inclusão e a fonte de lipídio podem exercer influência no teor de ácidos graxos no filé, e o consumo dessas gorduras é de extrema importância para prevenção de doenças cardiovasculares (CONTRERAS-GUZMÁN, 1994). No entanto, dependendo da fonte ou nível de lipídios, pode proporcionar o excesso de gordura visceral, diminuindo o rendimento de filé pelo acúmulo de gordura na cavidade abdominal, alterando negativamente seu valor comercial (MEURER et al., 2002) e alterando suas características organolépticas. Segundo Nelson e Cox (2014), o acúmulo de gordura corporal é principal forma de armazenamento de energia e participa diretamente em outras funções no organismo, como exemplo, constituição da parede celular, formação de hormônios esteroides e mensageiros intra e extracelulares.

O principal fator que influencia no perfil de ácidos graxos no filé é a alimentação (TIDWELL, 2007), além disso, características como: espécie, tipo de músculo corporal analisado, sexo, tipo de alimentação fornecida ou hábito alimentar, idade, época do ano, dieta e grau de maturação gonadal (VISENTAINER et al., 2005; BORGHESI et al., 2013), podem influenciar na composição de ácidos graxos no filé.

Os ácidos graxos monoinsaturados (MUFA) e PUFA - n-6 são encontrados em sua maioria no azeite de oliva, milho e soja, enquanto óleos de linhaça e peixe são fontes ricas de ácidos graxos PUFA - n-3 (GUNSTONE et al., 2004). Os óleos vegetais podem ser utilizados em dietas de peixes, desde que se tome os devidos cuidados no momento

do balanceamento, de forma a manter relação adequada entre os ácidos graxos n-6/n-3, para que haja um bom aproveitamento (MARTINO et al., 2005). De acordo com Menoyo et al. (2003), a elevada concentração de ácidos graxos PUFA n-6 em espécies de água doce é responsável pela menor razão n-6/n-3. Esta razão é de suma importância, uma vez que mantém o equilíbrio no consumo de alimentos ricos em ácidos graxos da série n-6 e n-3, sendo que para espécies de água doce esta razão pode variar de 1 a 4, enquanto nas espécies marinhas varia de 5 a 10 (MARTINO et al., 2002). A formulação da ração necessita de um equilíbrio entre todos os ingredientes utilizados, para que a razão entre os ácidos graxos n-6 e n-3 não seja menos que a desejada. Segundo Zanardi (2011), há muitas informações direcionadas a nutrição de peixes, no entanto, as exigências de AG ainda não estão bem elucidadas. Na tabela 1.1 encontra-se a composição dos principais ácidos graxos e relações de ácidos graxos dos óleos de soja e de linhaça.

TABELA 1.1 - Composição dos principais ácidos graxos, somatórias de ácidos graxos n-6, n-3 e relação de ácidos graxos n-6/n-3 nos óleos de soja e de linhaça

Fonte	Óleo de soja	Óleo de linhaça
18:2n-6 (LA= ácido linoleico);	51,00	12,7
18:3 n-3 (ALA= ácido $\alpha$ -linolênico)	6,8	53,3
20:4 n-6 (AA = ácido araquidônico)	-	-
20:5 n-3 (EPA= ácido eicosapentaenóico);	-	-
22:6n-3 (DHA= ácido decosahexaenóico)	-	-
$\Sigma$ AGS (ácidos graxos saturados)	14,2	9,4
$\Sigma$ MUFA (Ácidos graxos monoinsaturados)	23,2	20,2
$\Sigma$ n-6	51,0	12,7
$\Sigma$ n-3	6,8	53,3
n-3/n-6	0,1	4,2

Adaptado: Turchini et al. 2009

O óleo de linhaça e o óleo de soja, são fontes alternativas benéficas, oferecendo ácidos graxos essenciais, sendo uma fonte energética de baixo custo, poupando a utilização da proteína como fonte energética (ZANARDI, 2011), além de conter naturalmente altas concentrações de vitamina E, que é um ótimo antioxidante e melhoram significativamente a estabilidade oxidativa em filés de pescado após o processamento (HE et al., 2016), pois é uma vitamina lipossolúvel, podendo ser armazenada por longo tempo na gordura. O óleo de linhaça é rico em ácido graxo PUFA n-3, e produz um perfil de ácido graxo semelhante ao óleo de peixe em dourada, sem comprometer o crescimento ou a utilização do alimento (CASTRO et al., 2013). Segundo Tocher et al., (2002), tilápias alimentadas com fonte lipídica de óleo vegetal, tem uma maior atividade de dessaturação e alongamento de ácido graxo PUFA, no entanto, a dessaturação de 18:3 n-3 foi insuficiente para manter as proporções de ácidos graxos essenciais e DHA iguais aos peixes alimentados com óleo de peixe.

De acordo com Ng e Bahurmiz (2009), os dados disponíveis sobre o efeito da fonte lipídica em algumas características da qualidade do produto final em peixes, como sabor, textura e estabilidade no armazenamento, são muitas vezes controversos. Em contrapartida, Ng e Wang (2011), afirmaram que o tempo de prateleira, qualidade física e sensorial do filé é melhorada quando há incorporação de óleo vegetal na dieta, apresentando maior estabilidade oxidativa durante o armazenamento. Em um ensaio onde foi introduzido óleo de linhaça e óleo de soja para tilápias em crescimento durante cinco meses, demonstrou-se que as fontes de óleo vegetal alternativa são eficazes, não afetando negativamente a produtividade ou condição corporal dos peixes, e também aumentou a resistência a peroxidação lipídica nos tecidos, porém, reduziu as proporções de EPA n-3 e DHA n-6 nos filés, sendo uma variável indesejável para os consumidores (NG et al., 2013).

Segundo Boscolo et al., (2004), a incorporação de óleo de soja para tilápia em fase de crescimento, promove aumento nos parâmetros de rendimento corporal, concluindo que a utilização de 5,90% de óleo de soja proporciona aumento no rendimento de filé sem causar prejuízos. No entanto, a adição de óleos de origem vegetal em dieta de peixes não influencia sobre o conteúdo corporal de lipídios (GLENCROSS et al., 2003; REGOST et al., 2003; IZQUIERDO et al., 2005; RICHARD et al., 2006). No entanto, o perfil de AG presentes nos tecidos dos peixes é influenciado pela composição lipídica da

dieta (TURCHINI et al., 2003), podendo ser alterados de acordo com os tipos de óleos ou gorduras utilizados. Assim, os níveis de EPA e DHA podem ser elevados pelo enriquecimento de alimentos ricos em ácidos graxos essenciais na alimentação de peixes (FRANCIS et al., 2006).

Os teores de lipídios e o perfil de ácidos graxos contribuem significativamente nos atributos de qualidade da carne, influenciando o valor nutricional e maciez (PARDI et al., 2006). Além disso, é importante avaliar o perfil de ácidos pela sua relação com a saúde humana (MAHGOUB et al., 2002). No entanto, ainda são poucas as informações sobre a inclusão de fontes lipídicas de origem vegetal quanto ao perfil de ácidos graxos e qualidade da carne no filé de tilápias do Nilo em terminação.

## **1.5 QUALIDADE DA CARNE**

O consumidor está mais exigente, atento e informado, quanto a qualidade do pescado e segurança alimentar (BORGHESI et al., 2013). Atributos sensoriais como aparência, cor, odor, textura e sabor são fatores utilizados para avaliar a qualidade dos alimentos no momento da escolha do produto pelo consumidor, podendo ser alterados durante a criação, processamento e armazenamento do pescado (LYON; LYON, 2001; SOHN; OHSHIMA, 2010). A carne de pescado é um dos produtos de origem animal mais susceptíveis ao rápido processo de deterioração (CICERO et al., 2014), por conter em sua composição elevados teores lipídicos insaturados que são facilmente oxidados, alta atividade de água nos tecidos, microrganismos presentes tanto na água, como a microbiota natural do pescado (intestinos, guelras e limo superficial), e pH próximo da neutralidade, fatores esses que intensificam a proliferação microbiana no pescado (CICERO et al., 2014; SOARES; GONÇALVES, 2012).

A qualidade da carne pode ser afetada por inúmeros fatores, como: características intrínsecas (espécie, idade e sexo), condições ambientais (temperatura, salinidade), alimentação e composição da dieta (GRIGORAKIS, 2007), sendo que esses fatores alteram os aspectos sensoriais e nutricionais da carne, que dependem da composição física-química do peixe. O termo qualidade de carne é abrangente e envolve aspectos sensoriais (cor, maciez, sabor, suculência, odor), funcionais (pH, capacidade de retenção de água) e nutricionais (quantidade de deposição de gordura, perfil de ácidos graxos, nível de oxidação, teores de proteína, vitamina e minerais). Além disso, envolve



medidas de segurança sanitária que garantam a ausência de agentes contagiosos e perigos biológicos ao alimentos. Com isso, a nutrição de peixes influencia de forma direta vários aspectos relacionados à qualidade da carne do pescado como textura, cor, aroma, sabor, valor nutricional, tempo de prateleira e nível de contaminantes (BOYD, 2015).

A carne de pescado tem como principais componentes químicos a água (50 a 85%), proteína (12 a 24%) e lipídios (0,1 a 22%), sendo que 2% estão divididos entre minerais (0,08 a 2%), glicídios (0,1 a 3%) e vitaminas (BRITTO et al., 2014; YARNPAKDEE et al., 2014). No entanto, a composição muscular varia de acordo com a espécie, idade, sexo e nutrição. Em um ensaio experimental, Yarnpakdee et al., (2014) avaliaram a composição corporal de duas espécies distintas, tilápia do Nilo e bagre de cabeça chata, onde os resultados foram de 16,6% de proteína e 0,2% de lipídio para tilápia do Nilo e 17,5% de proteína e 11,4% de lipídio para o bagre de cabeça chata. Segundo Britto et al., (2014), os peixes podem ser classificados como gordos (>8,0% de gordura), semigordos (3,0-8,0%) e magros (2,0-3,0%), diante disso, a tilápia foi classificada como peixe magro, por apresentar alto teor de proteína e baixo lipídio, enquanto o bagre cabeça chata caracterizado como um peixe gordo.

A dieta utilizada possui diferentes componentes na sua formulação, de origem animal e vegetal, que influencia a qualidade do filé, o principal produto comestível originado do processamento de tilápias (SANTOS et al., 2000). Há buscas constantes por ingredientes de boa qualidade a baixo custo, que permitam a formulação de dietas nutricionalmente completas e adicionem atributos desejáveis à carne (CYRINO et al., 2010), a composição muscular é um importante aspecto de qualidade em filés de peixes e mudanças na aparência e composição podem afetar o marketing desse produto (GRIGORAKIS, 2007).

A carne de peixe apresenta características diferenciadas na sua composição química que lhe conferem alto valor biológico, como proteína de alto valor nutritivo e boa digestibilidade, aminoácidos essenciais, vitaminas e minerais, além de ser uma fonte rica em ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa (n-3 e n-6) (BURGER et al., 2014; SCHMIDT et al., 2015). Os benefícios do pescado em relação a carne bovina, estão relacionados com a concentração e perfil de ácidos graxos insaturados e poliinsaturados, sendo um alimento mais saudável do ponto de vista nutritivo (BORGHESI et al., 2013). Segundo Grigorakis (2007), o perfil de ácido graxo presentes na carne dos peixes são importantes, pois afetam o sabor e outros atributos de qualidade da carne. O filé de tilápia

é apreciado pelo consumidor, pelo seu sabor agradável, textura, cor branca, odor característico, ausência de espinha intramuscular em forma de “Y”, de fácil processamento na indústria pela sua facilidade no momento da filetagem (RIGHETTI et al., 2011). Porém, o perfil de ácidos graxos pode ser melhorado para consumo humano por meio de alimentação direcionada para agregar valor ao produto.

A tilápia do Nilo utilizada de forma eficiente os lipídios como fonte de energia e AG (SARGENT et al., 2002). Sendo assim, o nível de inclusão e a fonte de lipídio podem exercer influência no teor de ácidos graxos no filé, o consumo dessas gorduras é de extrema importância para prevenção de doenças cardiovasculares (CONTRERAS-GUZMÁN, 1994). No entanto, dependendo da fonte ou nível de lipídios, pode proporcionar o excesso de gordura visceral, diminuindo o rendimento de filé pelo acúmulo de gordura na cavidade abdominal, alterando suas características organolépticas (MEURER et al., 2002) e com depreciação no seu valor comercial.

No entanto, a inclusão de fontes de n-3 e n-6 na ração, a composição de ácidos graxos no filé pode variar por diversos fatores, como a espécie, tipo de músculo corporal analisado, sexo, tipo de alimentação fornecida ou hábito alimentar, idade, época do ano, dieta e grau de maturação gonadal (VISENTAINER et al., 2005; BORGHESI et al., 2013).

### **1.5.1 Cor**

A cor pode ser definida como a sensação visualizada por um indivíduo quando a energia da correspondente ao espectro visível atinge a retina do olho, sendo a região do espectro eletromagnético sensível ao olho humano localizada na faixa de comprimento de onda ( $\lambda$ ) entre 390nm a 750nm (FRANCIS; CLYDESDALE, 1975). As cores referentes a faixa do espectro são descritas subjetivamente de acordo com a percepção sensorial do observador em analisar as cores "vermelho", "verde", "amarelo"; ou objetivamente de acordo com o comprimento de onda por meio de instrumento (FERREIRA, 1991; RAMOS, 2007). Com o intuito de normalizar a medição de cor, a Commission Internationale de l'Eclairage (CIE), em 1931, adotou métodos para medição e especificação de cor com uso de fontes de luz padronizada pela CIE, disposições exatas para observação, uso de unidades matemáticas adequadas para expressão da cor e do observador padrão (JIMÉNEZ, 2001).

A medida de cor, ou colorimetria, pode ser avaliada através de instrumentos como o espectrofotômetro, colorímetros triestímulos e colorímetros visuais aditivos ou subtrativos. O espectrofotômetro fornece medições por refletância e/ou transmitância de uma amostra a cada comprimento de onda, o colorímetro triestímulo gera medições correlacionadas à percepção do olho humano baseado em valores triestímulos, com modelo de cor XYZ e modelo de cor  $L^*a^*b^*$ . Já os colorímetros visuais aditivos levam a adição de três cores primárias (vermelho, verde e azul) para formação de quaisquer cores, e os colorímetros visuais subtrativos envolvem a retirada de partes do espectro visível por meio de filtros com cores primárias (HUNTER, 1987). Em 1976, a CIE recomendou o uso da escala de cor CIE  $L^*a^*b^*$ , ou CIELAB, a fim de fornecer relação uniforme entre as diferenças da cor e as diferenças visuais. Este método é representado por uma escala de cor, onde o máximo valor de  $L^*$ , referente a luminosidade, é 100, correspondente a uma perfeita reflexão difusa, e o valor mínimo é zero e constitui o preto. Os eixos  $a^*$  e  $b^*$  não apresentam limites numéricos específicos. A coordenada  $a^*$  varia do vermelho ( $+a^*$ ) ao verde ( $-a^*$ ) e a coordenada  $b^*$  do amarelo ( $+b^*$ ) ao azul ( $-b^*$ ). Os valores delta ( $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  e  $\Delta b^*$ ) indicam o quanto a amostra diferiu do padrão para  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , e são frequentemente utilizados no controle de qualidade e ajustes de formulação, além de serem utilizados para o cálculo da diferença total de cor ( $\Delta E^*$ ) (HUNTERLAB, 1996), como visto na figura 2.

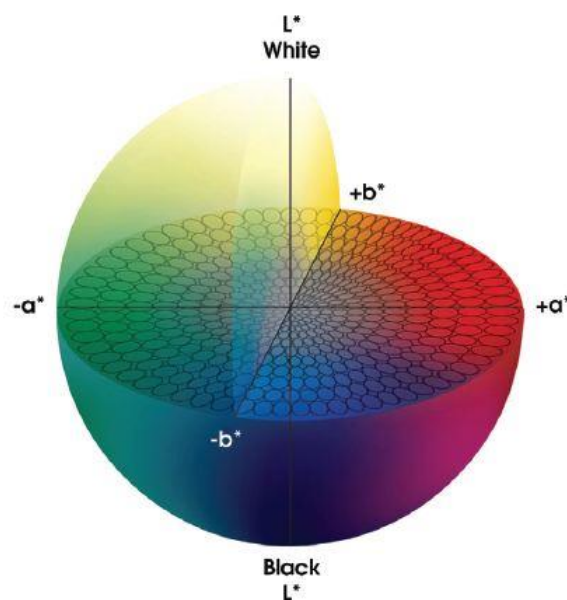


FIGURA 1.2 - CIE  $L^* a^* b^*$  Diagrama de espaço de cores ( $L^*$ : Escuro;  $a^*$ : vermelho e  $b^*$ : amarelo)

Há grande variação na coloração da carne entre espécies de peixes, pelas particularidades de coloração na musculatura, vísceras, líquido corporal, couro e escamas. As alterações na cor podem ser dadas por fatores intrínsecos (tipo de músculo, espécie, idade, sexo), quanto a fatores extrínsecos que o animal é submetido (alimentação, esforço do animal em momento anterior ao abate) e post mortem como pH, temperatura e região anatômica podem ser responsáveis pela alteração da cor da carne (ZEOLA, 2002). A temperatura de congelamento e o tempo de armazenamento também irão influenciar na coloração do pescado, sendo que a aceitação visual irá diminuir a medida que o tempo de estocagem do produto aumenta (BOLES; PEGG, 2017).

A variação de coloração está relacionada com a presença de quatro grupos principais de pigmentos que fornecem cor as células, que são: melanina, carotenoides, pteridinas e purinas, além das mioglobinas, hemoglobina, bilinas e hemocianina (MAIA; OGAWA, 1999; ANDERSON, 2000). Os pigmentos presentes nas células participam de várias reações químicas e bioquímicas, sendo assim, instáveis. A alteração na cor do alimento é um indicador de alterações químicas e bioquímicas que o produto sofre durante seu processamento ou estocagem (RIBEIRO, 2007a).

A coloração escura apresentada nos peixes ocorre pela presença da melanina. Os carotenoides são pigmentos lipossolúveis e são responsáveis pela coloração amarelada e vermelha, enquanto, os carotenoides e pteridinas são compostos solúveis em água, resultando na coloração brilhante, e os pigmentos compostos por purinas, com predominância em guanina, são encontrados geralmente na pele da região ventral da maioria dos peixes, conferindo a coloração prateada (ANDERSON, 2000). Estes pigmentos básicos podem combinar com outros componentes como as proteínas produzindo cores nos peixes que vão do azul, violeta a tons de verde (RIBEIRO, 2007a).

A cor da carne fresca se deve não só a hemoglobina, que permanece no tecido como sangue residual, mas principalmente pela concentração e estado químico da mioglobina (PARDI, 2006). No músculo vivo, a mioglobina leva oxigênio para as células, permitindo que as mesmas mantenham suas funções fisiológicas nos tecidos, nas carnes é o principal pigmento responsável pela coloração vermelha (SURENDRANATH; POULSON, 2013). A coloração avermelhada da carne pode passar por um processo de descoloração devido a taxa de oxidação da mioglobina (RICHARDS; HULTIN, 2002). As alterações são influenciadas por fatores como o pH do músculo, o potencial redox, atividade da metamioglobina redutase, reações de consumo de oxigênio, susceptibilidade

à oxidação lipídica, ou ainda a exposição à luz e temperatura de armazenamento (SOHN, 2010). Nos estágios iniciais da oxidação lipídica da carne, ocorre a formação de um produto primário da oxidação, o hidroperóxido, que ocorre não só em peixes, mas também animais de carne vermelha e escuras (SOHN et al., 2005).

A aparência, especialmente a cor, é um atributo importante de qualidade da carne crua. Por outro lado a textura, a aparência e o sabor são importantes para a qualidade alimentar da carne cozida (LYON; LYON 2001; AASLYNG, 2003). A coloração dos peixes, tanto no couro como no músculo, é de grande importância para a comercialização do produto, e está diretamente associada a aceitação ou rejeição pelo consumidor. Izquierdo et al., (2005), trabalhando com dourada (*Sparus aurata*), onde houve a substituição de 80% do óleo de peixe por óleo de linhaça, causou alterações na cor, porém não sendo percebida a olho nu, demonstrando que não houve efeito na coloração com a adição de óleo de linhaça na dieta.

### **1.5.2 Capacidade de retenção de água (CRA)**

Entende-se por capacidade de retenção de água (CRA) a aptidão da carne para reter total ou parcialmente a própria água ou a água adicionada durante seu tratamento, durante processos que envolvem aplicação de forças externas (compressão, impacto ou cisalhamento) ou ao longo de determinado processo como a maturação, cozimento ou congelamento (ORDÓÑEZ et al, 2005).

A textura da carne, maciez, firmeza e sensações táteis estão diretamente relacionadas com a capacidade de retenção de água na musculatura, pH, características do músculo conjuntivo e das fibras musculares, sendo a perda de água uma das alterações mais evidentes no músculo post mortem (PARDI et al., 2001; ESKIN et al., 2015). A água é o meio universal das reações biológicas e a CRA é uma variável que permite as reações que ocorrem na carne durante o processamento e armazenamento (GRIGORAKIS, 2007; SOARES, 2012). Para garantir a qualidade da carne, é preciso avaliar sua CRA, visto que a diminuição da CRA influencia diretamente a apresentação do produto, escolha do consumidor e apreciação das características sensoriais (LAWRIE, 2005), além de diminuir a suculência e a palatabilidade (ORDÓÑEZ et al., 2005). A CRA do filé de pescado é influenciada por mudanças na estrutura proteica, distribuição de fluidos nos espaços intra e extracelular, pH, além de, pressão e calor durante o

processamento, que interferem na CRA, que devem ser controladas durante o processamento para se preservar a qualidade do pescado (JONSSON et al., 2001).

A carne no período de pré rigor mortis possui elevada CRA (ESKIN, 2015), relacionada à crescente capacidade de ligação da miosina com a água em pH acima do ponto isoelétrico das principais proteínas miofibrilares. Uma vez que nessas condições ocorre o aumento das forças eletrostáticas de repulsão entre as proteínas, forma-se uma matriz miofibrilar menos compacta retendo assim mais moléculas de água (LAWRIE, 2005; BOND et al., 2004).

A satisfação do consumidor em relação à carne de peixes é reflexo direto da interação entre sua textura, suculência, sabor e aroma, atributos estes que podem ser empregados para avaliar, ao longo da cadeia produtiva, a qualidade do pescado, que é passível de alterações de acordo com as características iniciais do manejo alimentar e das condições de abate dos peixes, dos métodos de processamento, além da estocagem e do tempo de prateleira dos produtos e que portanto devem ser constantemente controlados e verificados.

Além de intervir no aspecto geral da carne, uma menor CRA gera perdas de seu valor nutritivo pelo exsudato liberado, pois junto com a água são perdidos lipídios, vitaminas, proteínas solúveis e minerais, resultando em uma carne seca e mais dura (GOÑI, 2010).

### **5.3 potencial Hidrogeniônico (pH)**

A análise do pH, também é comumente utilizada como parâmetro de frescor. O estresse causado no momento do abate, conduz um rápido consumo das reservas de glicogênio e ATP, produzindo ácido lático e diminuindo o pH da carne (RAHMANIFARAH et al., 2011). O pH final dos filés de pescado irá determinar características de qualidade, como: carnes PSE (pale, soft e exudative - pálida, mole e exsudativa), onde o pH se apresenta abaixo do normal; ou DFD (dark, firm e dry - escura, firme e seca) que tem pH final elevado. Essas características afetam a capacidade da carne em reter água, cor e maciez (MØRKØRE, 2006), afetando a qualidade do pescado e diminuindo a vida de prateleira.

O pH influi no número e na natureza das interações eletrostáticas das moléculas proteicas. Após a morte do animal, o rigor mortis é estabelecido, a redução do pH juntamente com a glicólise estabelecem o período de post mortem, em que o pH atinge valores de 5,3 a 5,5, coincidindo com o ponto isoelétrico das proteínas miofibrilares (ORDÓÑEZ et al., 2005; ESKIN, 2015). A taxa metabólica e a capacidade de tamponamento do músculo, terá influências na velocidade de queda do pH, pois quando o pH é baixo o suficiente, algumas enzimas são inibidas e a glicólise cessa (MØRKØRE, 2006).

No músculo de peixes, o pH geralmente é maior do que o da carne de mamíferos, e dificilmente fica abaixo de 6,0, mesmo após atingir o rigor mortis pleno. Além da excitabilidade no processo de despesca ou na captura do pescado, a temperatura da água, estação do ano e a maturidade sexual afetam o pH final do produto, alterando a qualidades como textura, sua capacidade de retenção de água, resistência ao crescimento de micro-organismos e alterando a coloração da carne, pois influenciam na atividade enzimática e na taxa de oxigenação muscular (ZEOLA, 2002; MØRKØRE, 2006; BOLES; PEGG, 2017).

De acordo com a legislação nacional (MAPA, 2017), os valores de pH aceitáveis devem se encontrar abaixo de 7,0. Castro et al., (2014), trabalhando com dourada (*Sparus aurata*), substituiu 70% ou 100% do óleo de peixe por óleo de linhaça, embora, não houve diferença significativa, constatou-se que nos primeiros sete dias após o abate, o pH final dos filés de peixes alimentados com óleo de peixe foi mais elevado em comparação aos que foram alimentados com óleo de linhaça, sendo assim, a utilização de fontes alternativas de lipídios não altera o pH final do filé. O aumento do pH é relacionado a proliferação de compostos bacterianos, ligados a deterioração do músculo do peixe (MØRKØRE et al., 2002; RAHMANIFARAH et al., 2011; CASTRO et al., 2014).

#### **1.5.4 Textura**

A textura é um atributo de vários parâmetros, com conceitos de definição importantes: 1) A textura é uma propriedade sensorial; 2) É um atributo de vários parâmetros, não apenas textura ou mastigabilidade; 3) Resulta da estrutura do alimento, em termos molecular, microscópico ou macroscópico; e 4) É detectado por vários sentidos, sendo os mais importantes os sentidos do toque e paladar (SZCZESNIAK, 1990;

SZCZESNIAK, 2002). Os instrumentos de teste de textura detectam e quantificam apenas certos parâmetros físicos que são interpretados em termos de percepção sensorial. Os parâmetros mecânicos primários são: dureza, coesividade, viscosidade, elasticidade e adesividade; e os secundários: fragilidade, mastigabilidade e gomisidade (CIVILLE; SZCZESNIAK, 1973; SZCZESNIAK, 2002).

A textura é uma das principais características avaliadas na indústria de alimentos frescos, atribuindo qualidade, aceitabilidade do produto, processamento e vida útil de prateleira. O manuseio pós-abate e as condições de manipulação do produto, como por exemplo, a temperatura de armazenamento, geram um grande efeito nas propriedades de textura do alimento (CHEN; OPARA, 2013). A composição da dieta também influencia diretamente a textura da carne (SZCZESNIAK, 2002).

Após a morte do peixe, ocorrem diversas reações químicas, bioquímicas e físicas, que envolvem diversos fatores, como a proteólise *post mortem*, o tecido conjuntivo e a contração muscular, que promovem a maciez *post mortem*. A desnaturação e degradação das proteínas miofibrilares e do citoesqueleto ideal para a maciez da carne em mamíferos (BELEW et al., 2003), para os peixes essas mudanças são indesejáveis. Enquanto em carnes bovinas a maciez é desejável (BELEW et al., 2003), a firmeza no músculo do pescado é um importante indicador do frescor e qualidade do produto (ESKIN, 2015), sendo assim, carnes muito macias indicam a deterioração das propriedades sensoriais da carne.

A maciez da carne pode ser avaliada subjetivamente por teste sensorial, no entanto, devido a diversas características a serem avaliadas, a complexidade e incertezas é difícil se obter um julgamento preciso, além de ter um custo mais elevado em comparação as medições instrumentais (CHEN; OPARA, 2013). Diante das limitações da percepção sensorial de textura, foram desenvolvidas medidas objetivas que envolvem métodos instrumentais (COSTA et al., 2010). A análise da textura pode ser aplicada tanto próxima à linha de produção na indústria, quanto em testes laboratoriais individuais, mensurando a elasticidade, a resistência e dureza específica dos produtos de pescado.

A análise de maciez é realizada com um equipamento que mede a força necessária para corte da carne, o texturômetro, no qual o valor é expresso em quilograma-força (kgf). O ensaio simula a força para o rompimento da amostra, uma força maior para o cisalhamento, indicando a dureza da carne, crua ou cozida. A lâmina do tipo *Warner-*



*Bratzler* é classificada como a mais eficaz para medir a firmeza e a textura, trata-se de uma lâmina única com uma fenda em forma de triângulo em sua base que é conduzida através de uma amostra cárnea (RAMOS; GOMIDE, 2007). Assim, com a análise instrumental é possível, através do controle de qualidade, averiguar o índice de filés de peixes com consistência demasiadamente macia, o que denota um produto de qualidade inferior, visto que se apresenta com aspecto mole desagradável contrário à vontade dos consumidores. É possível prever também o aparecimento de rasgos ou fendas dentro do filé, ou seja, aumento de aberturas no tecido muscular, característica inaceitável para a indústria, uma vez que tais defeitos tornam o filé incapaz de suportar as exigências de manutenção mecânica, de manipulação e do processamento industrial, originando filés quebrados que serão rebaixados ou recusados na hora da compra.

O teor de gordura presente no músculo, além das propriedades mifibrilares, irão determinar a suculência do filé, melhorando a sensação de sabor e textura, no entanto, pode afetar as quedas de pH após o abate, apresentando diferenças no processo de mastigação (WANG et al., 2016). Assim, a análise da qualidade da carne de pescado vai além dos resultados de desempenho produtivo, considerando que é o produto final destinado ao consumo. Considerando que a linhaça é uma fonte de  $\alpha$ -linolênico, além dos possíveis efeitos sobre o desempenho produtivo dos peixes, espera-se melhorar o valor nutricional para consumo humano, particularmente para peixes com peso corporal acima de 1,0 kg, preferidos para a elaboração de sashimi, em que o peixe é consumido *in natura*, sem alteração do valor nutritivo da carne pelo tratamento térmico durante seu processamento para consumo humano.

## 1.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASLYNG, M. D. Cooking loss and juiciness of pork in relation to raw meat quality and cooking procedure. **Food Quality and Preference**. v. 14, n. 4, p. 277-288, 2003.

AL-SOUTI, A.; AL-SABAHI, J.; SOUSSI, B.; GODDARD, S. The effects of fish oil-enriched diets on growth, feed conversion and fatty acid content of red hybrid tilapia, *Oreochromis sp.* **Food and Chemical Toxicology**. v.133, n.3, p.133:723–727. 2012.

ANDERSON, S. “Salmon Color and the Consumer”. In: ANDERSON, S. Proceedings of the IIFET. International Institute of Fisheries Economics and Trade. Corvallis, OR: Oregon State University. 2000.

ARAÚJO, J. C.; PEREIRA, R. T.; ROSA, P. V.; PALHA, M. D. C. Influência dos ácidos graxos na expressão gênica de peixes. **Revista Eletronica de Veterinaria**. v. 13, n. 3, p. 1–29, 2013.

BAHURMIZ, O. M.; NG, W. Effects of dietary palm oil source on growth, tissue fatty acid composition and nutrient digestibility of red hybrid tilapia, *Oreochromis sp.*, raised from stocking to marketable size. **Aquaculture**. v.262, n.2-4, p.262 - 382–392, 2007.

BARROSO, R. M.; PINCINATO, R. B. M.; MUNOZ, A. E. P.; LIMA, B. M. **O mercado da tilápia** - 3º e 4º trimestre de 2016. Informativo Mercado da Tilápia – 09 Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/155435/1/456.pdf>> Acesso em: 16 dezembro de 2017.

BELEW, J. B.; BROOKS, J. C.; MCKENNA, D. R.; SAVELL, J. W. Warner-Bratzler shear evaluations of 40 bovine muscle. **Meat Science**. v.64, n.4, p.507-512, 2003.

BOLES, J. A.; PEGG, R. **Meat Color**. Department of Animal and Range Sciences. Montana State University, p.4. 2017. [Acesso em 2 mar 2017]. Disponível em: <http://www.cfs.purdue.edu/FN/fn453/meat%20color.pdf>

BOND, J. J.; CAN, A. B.; WARNER, R. D. The effect of exercise stress, adrenaline injection and electrical stimulation on changes in quality attributes and proteins in Semimembranosus muscle of lamb. **Meat Science**. v.68, n.3, p.469-477, 2004.

BORGHESI, R.; HISANO, H.; SUCASAS, L. F. A.; LIMA, L. K. F.; OETTERER, M. **Influência da Nutrição sobre a Qualidade do Pescado: especial referência aos ácidos graxos**. Corumbá, Embrapa Pantanal, p. 21. 2013.

BORGHETTI, N. R. B.; OSTRENSKY, A.; BORGUETTI, J. R. **Aquicultura: uma visão geral sobre a produção de organismos aquáticos no Brasil e no mundo**. Curitiba: Grupo integrado de aquicultura e estudos ambientais. p.128, 2008.

BOSCOLO, W. R.; HAYASHI, C.; MEURER, F.; FEIDEN, A.; WOLFF, L. Desempenho e características de carcaça de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentadas com rações contendo diferentes níveis de gordura. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**. v. 26, n. 4, p. 443–447, 2004.

BOYD, C. E. **Overview of aquaculture feeds: global impacts of ingredient use**. In: DAVIS, D. A. (Ed.). **Feed and feeding practices in aquaculture**. Cambridge: Elsevier/Woodhead Publishing, p. 3-26. 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto nº 9.013, de 29 mar 2017. **Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA)**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. 108p. 2017.

BRITTO, A. C. P.; ROCHA, C. B.; TAVARES, R. A.; FERNANDES, J. M.; PIEDRAS, S. R. N.; POUEY, J. L. O. F. Rendimento corporal e composição química do filé da viola (*Loricariichthys anus*). **Ciência Animal Brasileira**. v.15, n.1, p.38-44, 2014.

BURGER, J.; GOCHFELD, M.; BATANG, Z.; ALIKUNHI, N.; AL-JAHDALI, R.; ALJEBREEN, D.; AZIZ, M. A. M.; AL-SUWAILEM, A. Fish consumption behavior and rates in native and non-native people in Saudi Arabia. **Environmental Research**, v. 133, p. 141–148, 2014.

CHEN, L.; OPARA, U. L. Texture measurement approaches in fresh and processed foods: a review. **Food Research International**. v.51, n.2, p.823-35, 2013.

CICERO, L. H.; FURLAN, E. F.; PRISCO, R. C. B.; NEIVA, C. R. P. Estudo das metodologias de destilação na quantificação do Nitrogênio das Bases Voláteis Totais em pescada, tilápia e camarão. **Brazilian Journal of Food Technology**. v.17, n.3, p.192-197, 2014.

CINTI, D. L.; NAGI, M. N.; SUNEJA, S. K. The fatty acid chain elongation system of mammalian endoplasmic reticulum. **Progress in Lipid Research**. v.31, n.1, p.1–51, 1992.

CONTRERAS-GUZMÁN, E. S. **Bioquímica de pescados e derivados**. Jaboticabal: FUNESP, p.409, 1994.

COSTA, R. L. D.; FONTES, R. S. Ácidos graxos na nutrição e reprodução de ruminantes. **PUBVET**. v.4, n.24, ed..129, 2010.

CYRINO, J. E. P.; BICUDO, A. J. A.; SADO, R. Y.; BORGHESI, R.; DAIRIKI, J. K. A. A piscicultura e o ambiente - o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.39, p.68-87, 2010.

EL-SAYED, A. M. **Tilapia culture**. London: Cabi, p. 277. 2006.

ESKIN, M.; ALIANI, M.; SHAHIDI, F. Carnes e Peixes. In: ESKIN, M.; SHAHIDI, F. (Eds). *Bioquímica de alimentos*. 3ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 536p. 2015.

FAO. *The State of World Fisheries and Aquaculture. Contributing to food security and nutrition for all*. Rome, 200 pp. 2016.

FERREIRA, V. L. P. **Colorimetria em alimentos**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, p. 43. 1991.

FRACALOSSI, D. M.; RODRIGUES, A. P. O.; SILVA, T. S. C.; CYRINO, J. E. P. **Técnicas experimentais em nutrição de peixes**. In: FRACALOSSI, D. M.; CYRINO, J. E. P. **Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira**. 1ª ed. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, p.37-63. 2012.

FRANCIS, D. S.; TURCHINI, G. M.; JONES, P. L.; DE SILVA, S. S. Effects of dietary oil source on growth and fatty acid composition of *Murray cod*, *Maccullochella peelii peelii*. **Aquaculture**. n.253, v.1-4, p.547-556, 2006.

FRANCIS, F. J.; CLYDESDALE, F. M. **Food colorimetry: theory and applications**. p. 477, 1975.

GLENCROSS, B.; HAWKINS W.; CURNOW, J. Evaluation of canola oils as alternative lipid resources in diets for juvenile red sea bream, *Pagrus auratus*. **Aquaculture Nutrition**. v.9, n.5, p. 409–418. 2003.

GOÑI, S. M.; SALVADORI, V. O. Prediction of cooking times and weight losses during meat roasting. **Journal of food engineering**. v.100, n.1, p.1-11, 2010.

GRIGORAKIS, K. Compositional and organoleptic quality of farmed and wild gilthead sea bream (*Sparus aurata*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and factors affecting it: a review. **Aquaculture**. v.272, n.1-4, p.55-75, 2007.

GUMPRICHT, E; ROCKWAY, S; C.N.S. Can u-3 fatty acids and tocotrienol-rich vitamin E reduce symptoms of neurodevelopmental disorders? **Nutrition**. v.30, n.7-8, p.733–738, 2014.

GUNSTONE, F. D. **Lipids for Functional Foods and Nutraceuticals**. Oily Press. Bridgwater. UK. 2004.

HE, Y.; HUANG, H.; LI, L.; YANG, X.; ZHAO, Y.; WU, Y. Freshness and Shelf Life of Air Packaged and Modified Atmosphere Packaged Fresh Tilapia Fillets during Freezing-point Storage. **Journal Nutrition Food Science**. v.6, n.6, p.564, 2016.

HENDERSON, R. J.; TOCHER, D. R. The lipid composition and biochemistry of freshwater fish. **Progress in lipid Research**. v.26, n.4, p.281–347, 1987.

HUNTER, R. S.; HAROLD, R. W. **The measurement of appearance**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 432p. 1987.

HUNTERLAB. Applications note: CIE L\* a\* b\* color scale. Virginia, 8(7). 1996.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, na Pesquisa da Pecuária Municipal. TABELA: Quantidade e valor dos produtos de origem animal e variação anual Brasil - 2015-2015. Brasil: IBGE. 2016. [Acesso em 19 out 2017]. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2015/default\\_xls\\_brasil.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2015/default_xls_brasil.shtm)

IZQUIERDO, M. S.; MONTERO, D.; ROBAINA, L.; CABALLERO, R.; ROSENLUND, G.; GINE´S, R. Alterations in fillet fatty acid profile and flesh quality in gilthead seabream (*Sparus aurata*) fed vegetable oils for a long term period. Recovery of fatty acid profiles by fish oil feeding. **Aquaculture**, v.250, n.1-2, p.431–444, 2005.

IZQUIERDO, M.S.; TURKMEN, A. S.; MONTERO, A. D.; A.; ZAMORANO, M. J.; AFONSO, A. J. M.; KARALAZOS, A. V.; FERNÁNDEZ-PALACIOS, B. Nutritional programming through broodstock diets to improve utilization of very low fishmeal and fish oil diets in gilthead sea bream. **Aquaculture**, v.449, n.1, p.18–26, 2015.

JIMÉNEZ, A.; GUTIÉRREZ, G. **Color**. In: ALVARADO, J. D.; AGUILERA, J. M. **Métodos para medir propiedades físicas em indústrias de alimentos**. Zaragoza: Editorial Acribia S.A, p. 325-346. 2001.

JOENSEN, A. M.; SCHMIDT, E. B.; DETHLEFSEN, C.; JOHNSEN, S. P.; TJØNNELAND, A.; RASMUSSEN, L. H.; OVERVADL, K. Dietary intake of total marine n-3 polyunsaturated fatty acids, eicosapentaenoic acid, docosahexaenoic acid and docosapentaenoic acid and the risk of acute coronary syndrome – a cohort study. **British Journal of Nutrition**, v.103, n.4, p.602–607, 2010.

JONSSON, A.; SIGURGISLADOTTIR, S.; HAFSTEINSSON, H.; KRISTBERGSSON, K. Textural properties of raw atlantic salmon (*Salmo salar*) fillets measured by different methods in comparison to expressible moisture. **Aquaculture Nutrition**, v.7, n.2, p.81-89, 2001.

KRIS-ETHERTON, P. M.; GRIEGER, J. A.; ETHERTON, T. D. Dietary reference intakes for DHA and EPA. **Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids**, v.81, n.2-3, p.99-104, 2009.

KUBITZA, F. Nutrição e alimentação de tilápias - Parte 1. **Panorama da aquicultura**, n.9, v.52, p.43-46, 1999.

LAWRIE, R. A. **Ciência da carne**. Porto Alegre: Artmed, 6.ed, 384p. 2005.

LUNDSTEDT, L. M.; RODRIGUES, A. P. O.; MORO, G. V. **Manejo nutricional em piscicultura**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Pesca e Aquicultura. In: LUNDSTEDT, L. M. **Produção animal e recursos hídricos**. EMBRAPA, 1:145 - 162. 2016.

LYON, B. G.; LYON, C. E. **Meat quality: sensory and instrumental evaluations**. In: SAMS, A. R. (Ed.). **Poultry meat processing**. New York: CRC Press., p.97–120. 2001.

MAHGOUB, O.; KHAN, A. J.; AL-MAQBALY, R. S.; AL-SABAHI, J. N.; ANNAMALAI, K.; AL-SAKRY, N. M. Fatty acid composition of muscle and fat tissues of Omán Jebel Akhdar goats of different sexes and weights. **Meat Science**, v.61, n.4, p.381-387, 2002.

MAIA, E. L.; OGAWA, M. **Cor**. In: OGAWA, M.; MAIA, E. L. (Ed.). **Manual de pesca (Ciência e tecnologia do pescado)**. São Paulo: Livraria Varela, p.75-85. 1999.



MARTIN, C. A.; ALMEIDA, V. V.; RUIZ, M. R.; VISENTAINER, J. E. L. V.; MATSHUSHITA, M.; SOUZA, N. E.; VISENTAINER, J. V. Omega-3 and Omega-6 polyunsaturated fatty acids: importance and occurrence in foods. **Revista de Nutrição**, v.19, n.6, p.761-770, 2006.

MARTINO, C. R.; CYRINO, J. E. P.; PORTZ, L. et al. Effect of dietary lipid level on nutritional performance of surubim (*Pseudoplatystoma corruscans*). **Aquaculture**, n.209, v.1-4, p. 209-218, 2002.

MARTINO, R. C.; CYRINO, J. E. P.; PORTZ, L.; TRUGO, L. C. Performance, carcass composition and nutrient utilization of surubim *Pseudoplatystoma corruscans* (Agassiz) fed diets with varying carbohydrate and lipid levels. **Aquaculture Nutrition**, v.11, n.2, p.131-137, 2005.

MCANDREW, B. J. **Evolution, phylogenetic relationship and biogeography**. In: BEVERIDGE, M. C. M.; MCANDREW, B. J. Tilapias: Biology and exploitation. Netherlands: Kluwer Academic Publisher, p.1-28. 2000.

MENOYO, D.; BAUTISTA, J. M.; LOPEZ, C.; OBACH, A. **Growth, digestibility and fatty acid utilization in large Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed varying levels of n-3 and saturated fatty acids**. **Aquaculture**, v. 225, n.1-4, p.295–307, 2003.

MEURER, F.; HAYASHI, C.; BOSCOLO, W. R.; SOARES, C. M. Lipídios na alimentação de alevinos revertidos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*, L.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.2, p.566-573, 2002.

MOREIRA, H. L. M.; VARGAS, L., RIBEIRO, R. P. **Fundamentos da moderna aquicultura**. Canoas: Ed. ULBRA, p. 200. 2001.

MØRKØRE, T. Relevance of dietary oil source for contraction and quality of pre-rigor filleted Atlantic cod, *Gadus morhua*. **Aquaculture**, v.256, n.1, p.56-65, 2006.

MOURENTE, G.; BELL, J. G. Partial replacement of dietary fish oil with blends of vegetable oils (rapeseed, linseed and palm oils) in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax L.*) over a long term growth study: effects on muscle and liver fatty acid composition and effectiveness of fish oil finishing diet. **Comparative Biochemistry and Physiology B**, v.145, n.3-4, p.389–399, 2006.

National Research Council. [NRC]. **Nutrient Requirements of Fish and Shrimp**. National Academy Press. WASHINGTON, D.C., USA. p. 392. 2011.

NAVARRO, R. D.; RIBEIRO, O. P. F.; FERREIRA, W. M.; PEREIRA, K. S. **A importância das vitaminas E, C e A na reprodução de peixes: revisão de literatura**. Revista Brasileira de Reprodução Animal, v.33, n.1, p.20–25, 2009.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de bioquímica de Lehninger**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed. p.1328, 2014.

NG, W.; BAHURMIZ, O. M. The impact of dietary oil source and frozen storage on the physical, chemical and sensorial quality of fillets from market-size red hybrid tilapia, *Oreochromis sp.* **Food Chemistry**, v.113, n.4, p.1041–1048, 2009.

NG, W.; CHEONG-YEW, C.; WANG, Y.; ROMANO, N. Effects of dietary fish and vegetable oils on the growth, tissue fatty acid composition, oxidative stability and vitamin E content of red hybrid tilapia and efficacy of using fish oil finishing diets. **Aquaculture**, v.372–375, n.24, p.97–110, 2007.

NG, W.; WANG, Y. Inclusion of crude palm oil in the broodstock diets of female Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, resulted in enhanced reproductive performance compared to broodfish fed diets with added fish oil or linseed oil. **Aquaculture**, v.314, n.1-4, p.122–131, 2011.

NG, W.; WANG, Y.; KETCHIMENIN, P.; YUEN, K. H. Replacement of dietary fish oil with palm fatty acid distillate elevates tocopherol and tocotrienol concentrations and increases oxidative stability in the muscle of African catfish, *Clarias gariepinus*. **Aquaculture**, n.233, v.1-4, p.423–437, 2004.

NIELSEN, N.S.; GOTTSCHKE, J. R.; HOLM, J.; XU, X.; MU, H.; JACOBSEN, C. Effect of structured lipids based on fish oil on the growth and fatty acid composition in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v.250, n.1-2, p.411-423, 2005.

ORDONEZ, J. A. **Tecnologia de alimentos: alimentos de origem animal**. Porto Alegre: Artmed, Vol. II. 2005.

PARDI, M. C.; SANTOS, I. F.; SOUZA, E. R.; PARDI, H. S. **Ciência, higiene e tecnologia da carne**. Goiania, Editora UFG, p.624. 2006.

PEZATTO, L. E.; BARROS, M. M.; FRACALOSSO, D. M.; CYRINO, J. E. P. **Nutrição de peixes**. In: CYRINO, J. E. P.; URBINATI, E. C.; FRACALOSSO, D. M.; CASTAGNOLLI, N. **Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva**. São Paulo: TecArt, p.75-169. 2004.

RAHMANIFARAH, K.; SHABANPOUR, B.; SATTATI, A. Effects of clove oil on behavior and flesh quality of common carp (*Cyprinus carpio L.*) in comparison with pre-slaughter CO<sub>2</sub> stunning, chilling and asphyxia. **Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, n.11, p.139-147, 2011.

RAMOS, E. M.; GOMIDE, L. A. M. **Avaliação na qualidade de carnes: fundamentos e metodologias**. Viçosa: UFV, p. 413-453. 2007.

RAMOS, E. M.; GOMIDE, L. A. M.; FONTES, P. R.; RAMOS, A. L. S.; PETERNELLI, L. A. Meat color evaluation and pigment levels in bullfrog (*Rana catesbeiana*) slaughtered by different methods. **Aquaculture**, v.245, n.1-4, p.175–182, 2005.

REGOST, C.; JAKOBSEN, J. V.; RORA, A. M. B. Flesh quality of raw and smoked fillets of Atlantic salmon as influenced by dietary oil sources and frozen storage. **Food Research International**, v.37, n.3, p.259–271, 2004.

RIBEIRO, P.A.P.; BRESSAN, M.C.; LOGATO, P.V.R.; GONÇALVES, A.C.S. Nutrição lipídica para peixes. **Revista Eletrônica Nutritime**, n.4, v.2, p.436–455, 2007a.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de Alimentos**. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher LTDA. p. 196. 2007b.

RICHARD, N.; MOURENTE, G.; KAUSHIK, S.; CORRAZE, G. Replacement of a large portion of fish oil by vegetable oils does not affect lipogenesis, lipid transport and tissue lipid uptake in European seabass (*Dicentrarchus labrax L.*). **Aquaculture**, n.261, v.3, p.1077–1087, 2006.

RICHARDS, M. P.; HULTIN, H. O. Contributions of blood and blood components to lipid oxidation in fish muscle. **Journal Agriculture Food Chemist**, n.50, v.3, p.555–564, 2002.

RIGHETTI, J. S.; FURUYA, W. M.; CONEJERO, C. I.; GRACIANO, T. S.; VIDAL, L. V. O.; MICHELLATO, M. Redução da proteína em dietas para tilápias -do-nilo por meio da suplementação de aminoácidos com base no conceito de proteína ideal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.3, p.469-476, 2011.

SAKOMURA, N. K.; SILVA, J. H. V.; COSTA, F. G. P.; FERNANDES, J. B. K.; HAUSCHILD, L. **Nutrição de Não Ruminantes**. Jaboticabal, SP: Editora Funep, p.676, 2014.

SANTOS, A. B.; MELO, J. F. B.; LOPES, P. R. S.; MALGARIM, M. B. Composição química e rendimento do filé da Traíra (*Hoplias malabaricus*). **Revista da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia Veterinária e Agronomia**, n.7, v.1, p.33-39, 2000.

SARGENT, J. R. Tailoring of Atlantic salmon (*Salmo salar L.*) flesh lipid composition and sensory quality by replacing fish oil with a vegetable oil blend. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.53, n.26, p.10166–10178, 2005.

SARGENT, J. R.; TOCHER, D.; BELL, J. G. **The lipids**. Pages 181-257. In: HALVER, J. E.; HARDY, R. W. **Fish nutrition**. Academic Press, Amsterdam, AM, The Netherlands. 2002.

SCHMIDT, L.; BIZZI, C. A.; DUARTE, F. A.; MULLER, E. I.; KRUPP, E.; FELDMANN, J.; FLORES, E. M. M. Evaluation of Hg species after culinary treatments of fish. **Food Control**, v. 47, v.1, p.413-419, 2015.

SCHMIDT-NIELSEN, K. **Fisiologia Animal: adaptação e meio ambiente**. 5. Ed. São Paulo, Santos, 1999.

SCORVO FILHO, J. D.; FRASCÁ-SCORVO, C. M. D.; ALVES, J. M. C.; SOUZA, F. R. A. A tilapicultura e seus insumos, relações econômicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p.112-118, 2010.

SENADHEERA, S. P. S. D.; TURCHINI, G. M.; THANUTHONG, T.; FRANCIS, D.S. Effects of dietary  $\alpha$ -linolenic acid (18:3n-3)/linoleic acid (18:2n-6) ratio on growth performance, fillet fatty acid profile and finishing efficiency in Murray cod (*Maccullochella peelii peelii*) **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.59, n.3, p.1020-1030, 2010.

SIMOPOULOS, A. P. The importance of the  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 fatty acids ration in cardiovascular disease and other chronic diseases. **Experimental Biology and Medicine**, v.233, n.6, p.674-688, 2008.

SOARES, K. M. P.; GONÇALVES, A. A. Qualidade e segurança do pescado. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v.71, n.1, p.1-10, 2012.

SOHN, J. H.; OHSHIMA, T. Control of lipid oxidation and meat color deterioration in skipjack tuna muscle during ice storage. **Fish Science**, v.76, n.4, p.703–710, 2010.

SOHN, J. H.; TAKI, Y.; USHIO, H.; KOHATA, T.; SHIOYA, I.; OHSHIMA, T. Lipid oxidations in ordinary and dark muscles of fish: Influence on rancid off-odor development and color darkening of yellowtail flesh during ice storage. **Journal Food Science**, v.70, n.7, p.490–496, 2005.

SUMAN, S. P.; JOSEPH, P. Myoglobin Chemistry and Meat Color. **Annual Review of Food Science and Technology**, v.1, n.4, p79-99, 2013

SURESH, V.; BHUJEL, R. C. **Tilapias**. In: LUCAS, J. S.; SOUTHGATE, P. C. (Eds.). **Aquaculture: Farming Aquatic Animals and Plants**. 2. ed. [s.l.] Blackwell Publishing, p.338–364, 2012.

PILLAY, T. V. R.; KUTTY, M. N. **Aquaculture principles and practices**. 1ed. Oxford: Blackwell Publishing. 2005.

SZCZESNIAK, A. S.; BLOCK, W. Texture is a sensory property. **Food Quality and Preference**, v.13, n.4, p. 215-225, 2002.

TEOH, C.Y.; TURCHINI, G.M.; NG, W.K. Genetically improved farmed Nile tilapia and red hybrid tilapia showed differences in fatty acid metabolism when fed diets with added fish oil or a vegetable oil blend. **Aquaculture**, v.312, n.1-4, p.126–136, 2011.

TIDWELL, J. H.; COYLE, S.; BRIGHT, L. A. Effects of different types of dietary lipids on growth and fatty acid composition of largemouth bass. **North American Journal of Aquaculture**, v.69, n.4, p. 257-264, 2007.

TOCHER, D. R.; MOURENTE, G.; VAN DER EECKEN, A.; EVJEMO, J. O. DIAZ, E.; BELL, J. G.; GEURDEN, I.; LAVENS, P.; OLSEN, Y. Effects of dietary vitamin E on antioxidant defense mechanism of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus L.*) and sea bream (*Sparus aurata L.*). **Aquaculture nutrition**, v.8, n.3, p.195-207, 2002.

TURCHINI, G. M.; MENTASTI, T.; FRØYLAND, L.; ORBAN, E.; CAPRINO, F.; MORETTI, V. M. Effects of alternative dietary lipid sources on performance, tissue chemical composition, mitochondrial fatty acid oxidation capabilities and sensory characteristics in brown trout (*Salmo trutta L.*). **Aquaculture**, v.225, n.1-4, p.251-267, 2003.

TURCHINI, G.M.; TORSTENSEN, B. E.; NG, W. Fish oil replacement in finfish nutrition. **Reviews in Aquaculture**. v.1, p.10–57, 2009. doi: 10.1111/j.1753-5131.2008.01001.x

VISENTAINER, J. V.; SALDANHA, T.; BRAGAGNOLO, N.; FRANCO, M. R. B. Relação entre teores de colesterol em filés de tilápias e níveis de óleo de linhaça na ração. **Ciência e tecnologia de alimentos**, v.25, n.2, p.310-314, 2005.

WANG D.; ZHANG, M.; DENG, S.; XU, W.; LIU, Y.; GENG, Z.; SUN, C.; BIAN, H.; LIU, F. Postmortem changes in actomyosin dissociation, myofibril fragmentation and endogenous enzyme activities of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) muscle. **Food Chemical**, v.197, p.340–344, 2016. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.10.132

WANG, M.; LU, M. Tilapia polyculture: A global review. **Aquaculture Research**, v.47, n.8, p. 1-12, 2015.

WATANABE, W. O.; LOSORDO, T. M.; FITZSIMMONS, K.; HANLEY, F. Tilapia production systems in the Americas: technological advances, trends, and challenges. **Reviews in Fisheries Science**, v.10, n.3-4, p.465–498, 2002.

WILLIAMS, M. C. W.; MURPHY, E. W.; MCCARTY, H. B.; SNYDER, B. D.; SCHRANK, C. S.; MCCANN, P. J.; CRIMMINS, B. S. Variation in the essential fatty acids EPA and DHA in fillets of fish from the Great Lakes region. **Journal of Great Lakes Research**, v.43, n.3, p.150–160, 2017.

YARNAKDEE, S.; BENJAKUL, S.; PENJAMRAS, P.; KRISTINSSON, G. H. Chemical compositions and muddy flavour/odour of protein hydrolysate from Nile tilapia and broadhead catfish mince and protein isolate. **Food Chemistry**, v.142, p.210–216, 2014.



ZANARDI, M. **Fontes de lipídios na reprodução e larvicultura de tilápia-do-nilo.** Jaboticabal, São Paulo, Brasil, Universidade Estadual Paulista, 2011.

ZEOLA, N. M. B. L. Conceitos e parâmetros utilizados na avaliação da qualidade da carne ovina. **Revista Nacional da Carne**, v.26, n.304, p.36-56, 2002.

ZIMMERMANN S.; FITZSIMMONS K. **Tilapicultura intensiva.** In: CYRINO, J. E. P.; URBINATI, E. C.; FRACALLOSSI, D. M.; CASTAGNOLLI, C. **Tópicos Especiais em Piscicultura de Água Doce Tropical Intensiva.** São Paulo: TecArt. p. 239-266. 2004.

ZIMMERMANN, S. Incubação artificial: técnica permite a produção de tilápias do Nilo geneticamente superiores. **Panorama da aquicultura**, n.9, p.15-21, 1999.

**CHAPTER 2**

**ARTICLE**

**GROWTH PERFORMANCE, FATTY ACID PROFILE AND MEAT QUALITY  
OF LARGE NILE TILAPIA FED FINISHING DIETS SUPPLEMENTED WITH  
SOYBEAN OIL OR LINSEED OIL**

## ABSTRACT

Linseed oil has emerging as functional food for human being one richest source of  $\alpha$ -linolenic. The requirement of  $\alpha$ -linolenic for large Nile tilapia reared under suboptimal temperature is found to be higher than that cultivated under optimal temperature. Four fishmeal-free diets were formulated to be isonitrogenous (321.2 g/kg), isocaloric (17.1 Mcal/kg) and isolipidic (73.1 g/kg), containing two sources of vegetable oils (soybean oil or linseed oil) supplemented at two levels (15 or 30 g/kg). A hundred and forty-four fish ( $1.1 \pm 0.04$  kg) were distributed in a completely randomized in a 2x2 factorial scheme, into twelve 1000 L-m<sup>3</sup> floating cages, hand fed and reared at 18 to 24 oC, during 6 wk. Higher weight gain, feed intake and improved feed conversion ratio were observed in fish fed 30 g/kg of linseed oil compared to fish fed 15 and 30 g/kg of soybean oil. Fillet yield of fish fed 30 g/kg of linseed oil was higher compared to observed in fish fed 30 g/kg of soybean oil. No differences on initial body weight, hepatosomatic index and proximate composition of fillets were observed. Fish fed 30 g/kg of linseed oil showed higher 18:3n-3 and lower 18:2n-6 content in the fillets compared to fish fed 15 and 30 g/kg of soybean oil. Higher sum of saturated fatty acids (SFA), monounsaturated fatty acids (MUFA) and sn-3 fatty acids were observed in fillets of fish fed 15 g/kg of soybean oil. Fish fed 30 g/kg of linseed oil showed higher sum of polyunsaturated fatty acids (PUFA) and sum of n-3 fatty acids in the fillets. Fillet of fish fed linseed oil showed lower n-6/n-3 compared to fish fed soybean oil. Color, water holding capacity, pH and hardness of fillets were not affected ( $P > 0.05$ ). The adhesiveness of fillets was analyzed at one and seven days post-mortem, which was increased in fish fed linseed oil while lower chewiness in fillet of fish fed 15 g/kg of soybean and linseed oils was observed. In conclusion, linseed oil was demonstrated to be emerging functional food as  $\alpha$ -linolenic source to enhance n-6/n-3 ratio of the fillets. Linseed oil at 30 g/kg is recommended to improve growth performance of large Nile tilapia reared under suboptimal temperature.

**Keywords:**  $\alpha$ - linolenic, functional food, shelf- life, n-6/n-3 ration

## 2.1 INTRODUCTION

Vegetable oils have been used in the aquaculture industry as energy and fatty acid (FA) sources (NRC, 2011). Consumers have been given more attention to the role of meal as functional food. Particular attention has become aware of low polyunsaturated fatty acids (PUFA) n-6/n-3 ratio to prevent chronic diseases (PRASAD, 2009). Linseed (*Linum usitatissimum*) oil is considered a functional food (KATARE et al., 2012) due its high content of PUFA, mainly  $\alpha$ -linolenic acid (ALA) (POPA et al., 2012; PILAR et al., 2014) an important compound as known to prevent cardiovascular diseases in human (HARPER et al., 2006; DALEPRANE et al., 2010; FUKUMITSU et al., 2010).

Higher content of PUFA is associated to lower content of monounsaturated fatty acid (MUFA), and saturated fatty acids (SFA) values, resulting in lower n-6/n-3 ratio of FA, widely known to influence fish growth (HERNÁNDEZ et al., 2013; NOBREGA et al., 2017), body lipid (PENG et al., 2016) WANG; HE; MAI, 2016) and FA composition (KATARE et al., 2012; NG et al., 2013; WIJEKOON; PARRISH; MANSOUR, 2015) and fillet characteristics (REGOST et al., 2003a; IZQUIERDO et al., 2005; REIS et al., 2014; CASTRO et al., 2015; YILDIZ et al., 2015). Exchange dietary ingredients in fish diets provides an effective method for changing the profile of fatty acid, because fish is capable to modify the FA composition of adipose tissue by changing the dietary FA source (PIEDECAUSA et al., 2007). Therefore, the concentration of n-3 PUFA can be increased in fish fillet by feeding sources such as linseed, rich in 18:3n-3 fatty (FRANCIS et al., 2006; GUILLEVIC; KOUBA; MOURROT, 2009) to benefit health of consumers.

Therefore, reducing PUFA n-6/n-3 ratio by linseed oil addition (BLANCHARD; MAKOMBU; KESTEMONT, 2008) would result in significant human health benefits. However, tilapia has lower level of PUFA n-3 (NOBREGA et al., 2017) than others cultured fish species used for sashimi such as Atlantic salmon, *Salmo salar* (BELL et al., 2001) and bluefin tuna, *Thunnus orientalis* (NAKAMURA; ANDO; SEOKA, 2007) and might be enriched to improve FA profile of fish targeted for human health. However, FA composition of fish varies according to fish species, size and diet. Although several studies have reported the effect of oil source and concentration on performance and FA composition of fillet in fish by incorporating linseed oil, very few studies have been undertaken to determine the enrichment of fillet in market size Nile tilapia. Tilapia fillets from 1 kg live weight fish are very popular and preferred for sashimi. In many subtropical and tropical areas, tilapia is seasonally farmed under suboptimal temperature. In recent

years, fish meal has been substituted for alternative vegetable and animal sources originated from poultry, pig and cattle rendering causing drastic effects on fatty composition of tilapia diets. Body FA profile is reflected by dietary FA and evaluating alternative sources of PUFA is emerging to improve fish production and meat quality. There is recent evidences of advantages of linseed oil supplementation to increase  $\alpha$ -linolenic contents and consequent fish growth and also increase n-3 HUFA and enhance n-6/n-3 ratio (NOBREGA et al., 2017). However, no study has been undertaken evaluating linseed oil in large Nile tilapia fed fish meal-free diet considering growth performance, FA profile and meat quality. The objective of this study was investigate the effect of soybean and linseed oil added at two levels in diets on growth performance, fatty acid profile of fillets and fillet quality of large Nile tilapia (~1.3 kg of body weight) fed under suboptimal temperature and fed fish-meal free diets.

## **2.2 MATERIAL AND METHODS**

### **2.2.1 Ethics statement**

This research was carried out in accordance with the recommendations in the Guide for the Use of Experimental Animals of State University of Ponta Grossa, Paraná, Brazil. The protocol for animal care and handling used in this study were approved by the Institutional Animal Care and Use Committee Grossa (Permit Number: 004/2010). Before sacrificing and handling, experimental fish were anesthetized with eugenol (1:10,000) (Herbia, Joinvile, Brazil).

### **2.2.2 Experimental diets**

Four isonitrogenous (321.2 g/kg), isocaloric (17.1 Mcal/kg) and isolipidic (73.1 g/kg), fishmeal-free diets were formulated containing two sources of oils (soybean oil or linseed oil) supplemented at two levels (15 or 30 g/kg). The experimental diets were made into sinking extruded pellets in a single-screw extruder (E200-R, Ferraz, Ribeirão Preto, Brazil) in pellet diameter of 4.0 mm. All diets were dried in modular system using radiators steam (G220, Ferraz, Ribeirão Preto, Brazil) and stored at  $-5^{\circ}\text{C}$  until use. Ingredients and proximate composition of experimental diets are shown in Table 1. The fatty acid profile of the experimental diets is described in Table 2.

Table 2.1 - Diet formulation and analyzed proximate composition of diets containing different vegetable oils sources and levels

Ingredients (g/kg)	Soybean oil		Linseed oil	
	15.0 (g/kg)	30.0 (g/kg)	15.0 (g/kg)	30.0 (g/kg)
Sorghum meal	240.0	240.0	240.0	240.0
Soybean meal	200.0	200.0	200.0	200.0
Maize	117.4	132.4	117.4	132.4
Feather meal	120.0	120.0	120.0	120.0
Wheat flour	120.0	120.0	120.0	120.0
Meat and bone meal	103.3	103.3	103.3	103.3
Blood meal	40.0	40.0	40.0	40.0
Poultry viscera flour	20.0	20.0	20.0	20.0
Limestone	3.6	3.6	3.6	3.6
Soybean oil	15.0	30.0	-	-
Linseed oil	-	-	15.0	30.0
Salt	3.5	3.5	3.5	3.5
Mineral and vitamin premix <sup>1</sup>	1.8	1.8	1.8	1.8
DL-methionine	0.4	0.4	0.4	0.4
Analyzed composition (g/kg dry matter)				
Dry matter	910.0	911.0	910.0	911.0
Gross energy (MJ/kg)	17.1	17.7	17.1	17.7
Crude protein	321.3	320.1	321.3	320.2
Crude fiber	32.7	32.2	32.6	32.1
Crude lipid	43.3	73.1	43.1	73.0
Calcium	16.2	16.1	16.2	16.1
Total phosphorus	10.4	10.8	10.3	10.7

<sup>1</sup>Composition (IU or mg/kg of premix): Vitamin A (retinal palmitate), 1,200,000 IU; vitamin D<sub>3</sub>, (cholecalciferol), 200,000 IU; vitamin E (DL- $\alpha$ -tocopherol), 12,000 mg; vitamin K<sub>3</sub>(menadione), 2,400 mg; vitamin B<sub>1</sub> (thiamine HCl), 4,800 mg; vitamin B<sub>2</sub> (riboflavin), 4,800 mg; vitamin B<sub>6</sub> (pyridoxine HCl), 4,000 mg; vitamin B12 (cyanocobalamin) = 4.800 mg; folic acid, 1,200 mg; D-calcium pantothenate, 12,000 mg; vitamin C (ascorbic acid), 48,000 mg; D-biotin = 48 mg; choline chloride, 65,000 mg; niacin, 24,000 mg; ferrous sulfate (FeSO<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O.7H<sub>2</sub>O), 10,000 mg; copper sulfate (CuSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O), 600 mg; manganese sulfate (MnSO<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O), 4,000 mg; zinc sulfate (ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O), 6,000 mg; cobalt sulfate (CoSO<sub>4</sub>.4H<sub>2</sub>O), 2 mg; sodium selenite (Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>), = 20 mg; butylated hydroxytoluene (BHT), 15 mg; butylated hydroxyanisole (BHA), 15 mg

Table 2.2 - Fatty acids composition (g/100 g of fatty acids) of diets containing different vegetable oils sources and levels<sup>1</sup>

Fatty acid	Soybean oil		Linseed oil	
	15.0 (g/kg)	30.0 (g/kg)	15.0 (g/kg)	30.0 (g/kg)
14:00	0.8	0.8	1.1	0.9
16:00	17.1	17.2	6.8	5.8
18:00	10.6	11.6	10.9	10.5
20:00	0.4	0.6	0.4	0.4
16:1n-7	0.7	0.8	1.2	1.1
16:1 n-9	nd	nd	nd	nd
18:1 n-7	0.6	1.9	1.3	1.7
18:1 n-9	28.5	28.3	27.7	27
20:1 n-3	nd	nd	nd	nd
20:1 n-9	0.2	0.3	0.3	0.5
18:3 n-3 ALA	1.8	2.8	22.5	26.7
18:2 n-6 CLA	39.3	35.7	27.8	25.4
18:3 n-6	nd	nd	nd	nd
20:3 n-3	nd	nd	nd	nd
20:4 n-3	nd	nd	nd	nd
20:4 n-6 ARA	nd	nd	nd	nd
20:5 n-3 EPA	nd	nd	nd	nd
22:4 n-6	nd	nd	nd	nd
22:5 n-3	nd	nd	nd	nd
22:5 n-6	nd	nd	nd	nd
22:6 n-3 DHA	nd	nd	nd	nd
SFA <sup>1</sup>	28.9	30.2	19.2	17.6
MUFA <sup>2</sup>	30.0	31.3	30.5	30.3
PUFA <sup>3</sup>	41.1	38.5	50.3	52.1
Σn-6	39.3	35.7	27.8	25.4
Σn-3	1.8	2.8	22.5	26.7
n-6/n-3	21.8	12.8	1.2	1.0

Values are means ± SD (n=3) and values within the same row with different letters are significantly different (P < 0.05). <sup>1</sup>SFA = saturated fatty acid, <sup>2</sup>MUFA = monounsaturated fatty acid, <sup>3</sup>PUFA = polyunsaturated fatty acid. nd = non-detected during fatty acids analysis.

### 2.2.3 Fish husbandry and sampling

At the onset of the feeding trial, the fish were allowed to fast for 24 h and weighed after being anesthetized with eugenol (1:10,000) (Herbia, Joinvile, Brazil) (XU et al., 2015).

A hundred and forty-four fish ( $1076.3 \pm 37.2$  g) were distributed into twelve 1-m<sup>3</sup> floating cages (1.0 x 1.0 x 1.0 m) housed in an earth tank of 4,000 m<sup>2</sup>, with an average depth of 1.8 m and daily renewal rate of 5.0%. Fish were cultured under water temperature ranging from 18 to 24 °C. Fish were hand fed twice daily at 12:00, 14:00 and 17:00 hours until apparent satiety, during 42 days. Supplemental oxygen was provided by 1 1/2 HP fountain aerator (Vulcão, Sulpesca, Toledo, Paraná, Brazil) to keep the level of dissolved oxygen at 4.0 to 6.0 mg/L. At the end of the experiment, fish were fasted for 24 h, prior anesthetized to counting and weighing to determine growth performance data. All fish were sampled at the end of the feeding trial for slaughter and fillet yield and the fillet of three fish per cage were used for proximate analysis, FA composition and meat quality. The right fillet of fish was used for proximate and FA composition and the left fillet from the same fish was used for meat quality parameters.

### 2.2.4 Calculations

Growth performance data were calculated according to the following expressions:

Weight gain (g) = final weight (g) – initial weight (g)

Feed conversion ratio = feed intake (g) / weight gain (g)

Protein efficiency ratio = weight gain (g) / protein intake (g) × 100

Hepatosomatic index (%) = liver weight (g) / body weight (g) × 100

Visceral fat (%) = visceral fat weight (g) / body weight (g) × 100

Slaughter yield = gutted weight (g) / body weight (g) × 100

Fillet yield = 2 × fillet weight (g) / body weight (g) × 100

### 2.2.5 Proximate composition and fatty acid analysis

Dry matter, crude protein, crude lipid and mineral matter of the experimental diets and fillets composition analyses were performed according to the methodology described by AOAC (1995). Moisture was determined by oven-drying at 105°C until constant



weight. Crude protein ( $N \times 6.25$ ) was determined by the Kjeldahl method after acid digestion (Tecnal, MA-036, Piracicaba, SP, Brazil). Crude lipid was determined by the ether-extraction method using a Soxtec System (Tecnal, TE-044, Piracicaba, SP, Brazil). Mineral matter content was determined by muffle furnace at 550°C for 24 h (Tecnal, 2000B, Belo Horizonte, MG, Brazil). The total fillet lipids were determined as previously described (BLIGH; DYER, 1959).

Fatty acid methyl esters (FAME) were transmethylated using boron trifluoride (Sigma Aldrich St. Louis, MO, USA) as previously described (SANTHA; ACKMAN, 1990). FAME were analyzed in a gas chromatograph (Shimadzu GC-2010) with a flame ionization detector (Shimadzu, Columbia) and equipped with a CPSil 88 fused silica capillary column (Varian, Middelburg, The Netherlands; 50 mm  $\times$  0.25 mm internal diameter, film thickness 0.19  $\mu$ m). Helium was used as carrier gas (120 kPa) and the temperature program was: 120 °C for 5 min and then programmed to increase to 220 °C at a rate of 3 °C/min and then held for 10 min. Injector and detector temperatures were 250 °C and 270 °C, respectively. The split ratio was 1:50 and the injected volume was 1.0  $\mu$ l. Standard mixtures (FAME 37, Supelco, Bellefonte, PA, USA) were used for FAME's identification and data were analyzed using CP-Maitre software (version 2.30, Shimadzu GC solution, Shimadzu, Columbia). Individual FAME was expressed as a weight percentage of the total FAMEs. The fatty acid methyl esters (FAME) were prepared by methylation of the total lipids (JOSEPH; ACKMAN, 1992). Methyl esters was separated by gas chromatography (Varian 3300, St.Louis, USA) gas chromatograph fitted with a flame ionization detector and a fused-silica DB-WAX capillary column (30 m and 0.25 mm i.d.) (J&W Scientific, Folsom, CA). The operation parameters were as follows: detector temperature, 280 °C; injection port temperature, 250 °C; column temperature, 170 °C for 16 min, programmed to increase at 2 °C/min up to 210 °C, with final holding time of 25 min; carrier gas, hydrogen at 0.8 mL/min, linear velocity of 38 cm/s<sup>1</sup>, with an oxygen filter coupled to the feed line; nitrogen was used as the makeup gas at 30 mL/min; split injection at 1:50 ratio. For identification of the FA, the retention times of the FA were compared to those of standard methyl esters (Sigma, St. Louis, MO). Equivalent chain-length values (ECL) were used as well as a coupled system of a gas chromatograph-mass spectrometer Shimadzu QP 5000 and fragmentation by electron impact, 70 eV. Retention times and peaks area percentages were automatically computed by a Varian 4290 integrator. Data were calculated as normalized area percentages of fatty acids.

### 2.2.6 Meat quality

Meat quality parameters were measured at day 1 and 7 after fish slaughter, which were refrigerated. All fish were kept fasted 24 hours before sampling. The color of the fillets was measured using a Minolta type CR-400 (Minolta camera Co., Ltd; Japan), portable tristimulus colorimeter. The instrument records the intensity by using the  $L$ ,  $a$ ,  $b$  value, where  $L$  correlate lightness (0-100),  $a$ ,  $b$  correlate red (+)/green (-) and yellow (+)/blue (-). The color changes fillets ( $n=3$ ) was measured on two positions in the dorsal and ventral portions of each cranial position of each fillet, 10 cm behind the operculum. The average values for the fillets was be used to calculate the mean values ( $\pm$ SD) for each group. Fillet color was measured in a white muscle area. Fillets texture of was measured at 1 and 7 days post-mortem above the midline, in the dorsal section. The skin was removed and two-spherical pieces (cranial and central,  $2.5 \times 2.0$  cm diameter and height, respectively, were collected from the left fillets, above the lateral line. The force-deformation curve was analyzed to determine three texture parameters of hardness, adhesiveness and chewiness. Measurements were performed with a Texture Analyser TA-XT2 (Stable Micro Systems Ltd., Godalming, UK) equipped with a 5-kg load cell. A flat-ended cylindrical probe (36-mm diameter) was used with a test speed pre-test of 1 mm/s, speed test of 5 mm/s, and post-test of 10 mm/s. The deformation was 30% of the original thickness. The texture was determined at room temperature ( $\sim 22^{\circ}\text{C}$ ). The average values for the fillets will be used to calculate the mean values ( $\pm$ SD) for each group. The pH of each minced white muscle sample (250 mg) was determined using pH meter (pH-TEC2-Tecnnal, Ribeirão Preto, Brazil), by dipping the glass electrode for 1 minute in the homogenate of fish muscle and distilled water (10 mL). The values for three samples in each treatment will be averaged for every storage day evaluated. Water holding capacity (WHC) was determined in each fish using the centrifugation method. Minced muscle (15 g) was put in 50 mm diameter centrifugal tubes and centrifuged at  $4^{\circ}\text{C}$  for 5 min at 1350 rpm. WHC was given as fraction of water bound after centrifugation (% of total water). The analyses were run in duplicate.

### 2.2.7 Experimental design and statistical analysis

Fish were randomized distributed to four diets in a  $2 \times 2$  factorial design, the factors being oil source (soybean oil or linseed oil) and two levels of inclusion (15.0 or

30.0 g/kg), and three replicates. All data is presented as mean values  $\pm$  standard error of mean (SEM) and subjected to one-way analysis of variance (ANOVA) to test the effects of the experimental diets using the statistical package SPSS (Version 13.0; SPSS, Inc., Chicago, IL, USA) for Windows. Tukey's multiple range test at a level of significance of  $P < 0.05$  will be used to compare differences among treatment means.

## **2.3 RESULTS**

### **2.3.1 Growth performance**

The growth performance of Nile tilapia fed diets containing lipid sources and levels are described in Table 3. Initial body weight, final body weight, hepatosomatic index and slaughter yield had no significant differences among all fish groups ( $p > 0.05$ ). No fish died during the feeding period. Weight gain and feed intake of fish fed 30 g/kg of linseed oil was higher ( $p = 0.004$ ) than fish fed other three diets (Figure 1). Fish fed diet containing linseed oil showed enhanced feed conversion ratio ( $p = 0.008$ ) and protein efficiency ratio ( $p < 0.005$ ) compared to fish fed soybean oil as lipid source. Visceral fat was higher ( $p = 0.024$ ) in fish fed 15 and 30 g/kg of linseed oil compared to that obtained in fish fed 15 g/kg of soybean oil. Fillet yield of fish fed diet containing 30 g/kg of linseed oil was higher ( $p = 0.006$ ) compared to that observed in fish fed diet containing 30 g/kg of soybean oil (Figure 2).

Table 2.3 - Growth performance of Nile tilapias fed diets containing different vegetable oils sources and levels<sup>1</sup>

Item	Soybean oil		Linseed oil		<i>P-value</i>		
	15.0 (g/kg)	30.0 (g/kg)	15.0 (g/kg)	30.0 (g/kg)	S <sup>2</sup>	L <sup>3</sup>	SxL
IW <sup>4</sup>	1088.1 ± 36.9	1090.3 ± 48.6	1105.0 ± 0.0	1021.7 ± 0.0	0.249	0.092	0.079
FW <sup>4</sup>	1271.5 ± 73.0	1242.7 ± 18.1	1297.9 ± 23.8	1330.3 ± 3.0	0.070	0.947	0.282
WG <sup>6</sup>	183.4 ± 36.2 <sup>b</sup>	152.4 ± 30.4 <sup>b</sup>	192.9 ± 23.7 <sup>b</sup>	308.6 ± 3.0 <sup>a</sup>	0.002	0.004	0.004
FI <sup>7</sup>	320.0 ± 11.3 <sup>b</sup>	326.2 ± 5.5 <sup>b</sup>	288.8 ± 10.8 <sup>c</sup>	428.3 ± 6.3 <sup>a</sup>	0.001	0.001	0.001
FCR <sup>8</sup>	1.8 ± 0.3 <sup>b</sup>	2.2 ± 0.4 <sup>b</sup>	1.5 ± 0.1 <sup>a</sup>	1.4 ± 0.0 <sup>a</sup>	0.008	0.354	0.113
PER <sup>9</sup>	1.8 ± 0.3 <sup>b</sup>	1.5 ± 0.3 <sup>b</sup>	2.1 ± 0.2 <sup>b</sup>	2.3 ± 0.0 <sup>a</sup>	0.005	0.797	0.104
HSI <sup>10</sup>	4.9 ± 0.1	5.6 ± 0.9	5.3 ± 0.7	4.4 ± 0.8	0.380	0.759	0.111
VF <sup>11</sup>	3.5 ± 0.1 <sup>b</sup>	4.1 ± 0.3 <sup>ab</sup>	4.6 ± 0.1 <sup>a</sup>	4.4 ± 0.3 <sup>a</sup>	0.003	0.290	0.024
SY <sup>12</sup>	86.7 ± 1.3	86.0 ± 0.7	86.7 ± 0.3	89.8 ± 3.4	0.053	0.197	0.060
FY <sup>13</sup>	33.3 ± 0.3 <sup>ab</sup>	31.8 ± 1.6 <sup>b</sup>	35.2 ± 1.3 <sup>ab</sup>	35.7 ± 1.8 <sup>a</sup>	0.008	0.902	0.006

<sup>1</sup>Values are means ± SD (*n* = 3) replicates and values within the same row with different superscript letters are significantly different (*p* < 0.05). <sup>2</sup>S = source of vegetable oil (Soybean or Linseed), <sup>3</sup>L = level of vegetable oil (15 or 30 g/kg). <sup>4</sup>IW= initial weight (g); <sup>5</sup>FW= final weight (g); <sup>6</sup>WG= weight gain (g); <sup>7</sup>FI= feed intake (g/fish); <sup>8</sup>FCR= feed conversion ratio; <sup>9</sup>PER= protein efficiency ratio; <sup>10</sup>HSI= hepatosomatic index (%); <sup>11</sup>VF=visceral fat (%); <sup>12</sup>SY= slaughter yield (%); <sup>13</sup>FY=fillet yield (%);

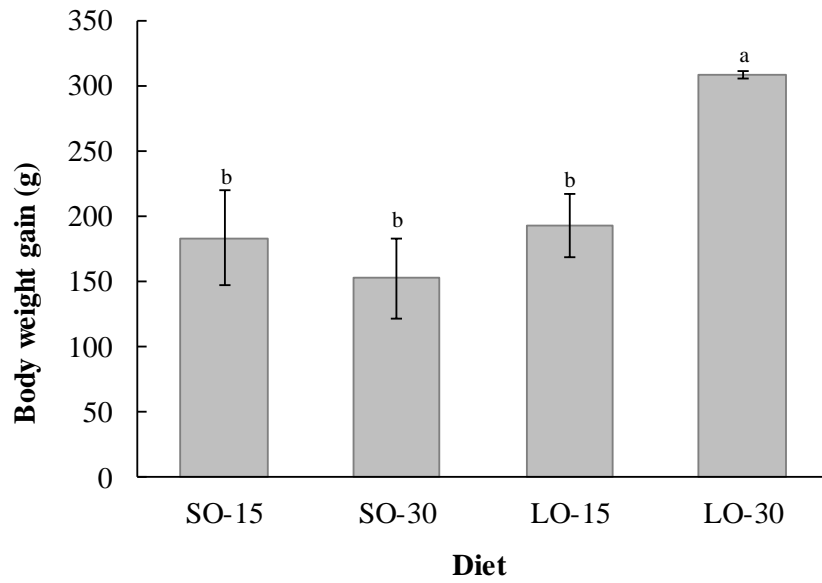


Figure 2.1 - Body weight of Nile tilapia fed diets containing different vegetable oils sources (SO = soybean oil or LO = linseed oil) and levels (15 or 30 g/kg). Values are means  $\pm$  SD ( $n = 3$ ) replicates. Values with different letters are significantly different ( $p < 0.05$ ).

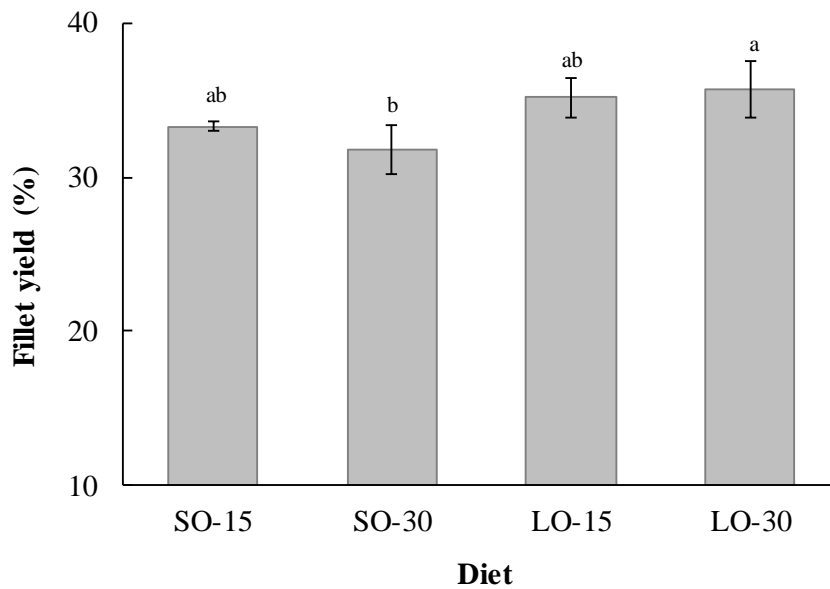


Figure 2.2 - Fillet yield of Nile tilapia fed diets containing different vegetable oils sources (SO = soybean oil or LO = linseed oil) and levels (15 or 30 g/kg). Values are means  $\pm$  SD ( $n = 3$ ) replicates. Values with different letters are significantly different ( $p < 0.05$ ).

### 2.3.2 Proximate composition and fatty acids profile of fillets

The results of fillet proximate composition of fillets are shown in Table 4. There was no significant difference among all fish groups on fillet moisture, crude protein, crude lipids and ash ( $p > 0.05$ ). Fatty acids content and profile in fillets are shown in Table 5. Fish fed soybean diets showed higher content of 16:1n-7, 16:1n-9 and 18:1n-7 FA in the fillets compared to fish fed linseed oil ( $p < 0.05$ ). Fillets of fish fed 30 g/kg of linseed oil showed higher 18:3n-3 (Figure 3) and lower 18:2 n-6 contents of FA than observed in fish fed diets other diets ( $p < 0.05$ ). The content of all other FA was not influenced by dietary treatments ( $p > 0.05$ ). Fish fed 5 g/kg of soybean oil showed higher levels of SFA and MUFA, and lower levels of PUFA in the fillets compared to observed in fish fed other diets ( $p < 0.05$ ). Fish fed 30 g/kg of linseed oil showed lower sum n-6 and higher sum n-3 of FA acids levels compared to fish fed other diets ( $p < 0.05$ ). The relationship n-6/n-3 FA was lower in fish fed linseed oil compared to that observed in fish fed soybean oil diets ( $p < 0.05$ ).

Table 2.4 - Fillet composition (g/100g) of Nile tilapias fed diets containing different vegetable oils sources and levels<sup>1</sup>

	Soybean oil		Linseed oil		<i>P-value</i>		
	15.0 (g/kg)	30.0 (g/kg)	15.0 (g/kg)	30.0 (g/kg)	S <sup>2</sup>	L <sup>3</sup>	SxL
Moisture	78.2±0.5	78.3±0.3	78.0±0.4	78.2±0.6	0.348	0.370	0.378
Crude protein	18.8±0.1	17.9±0.3	18.9±0.1	18.7±0.2	0.6784	0.743	0.694
Crude lipids	2.4±0.5	2.6±0.4	2.4±0.3	2.8±0.2	0.253	0.236	0.148
Ash	1.1±0.0	1.1±0.0	1.1±0.0	1.1±0.0	0.490	0.642	0.642

<sup>1</sup>Values are means ± SD (*n* = 3) replicates. <sup>2</sup>S = source of vegetable oil (Soybean or Linseed), <sup>3</sup>L = level of vegetable oil (15 or 30 g/kg)

Table 2.5 - Fatty acids contents (g/100 g of fatty acids) in the fillets of Nile tilapia fed diets containing different vegetable oils sources and levels<sup>1</sup>

Fatty acid	Soybean oil		Linseed oil		P-value		
	15 (g/kg)	30 (g/kg)	15 (g/kg)	30 (g/kg)	S <sup>2</sup>	L <sup>3</sup>	SxL
14:00	2.3±0.5	2.3±0.3	2.0±0.5	1.2±0.4	0.018	0.137	0.149
16:00	20.0±2.4	20.0±1.5 <sup>b</sup>	19.3±0.6 <sup>b</sup>	19.9±1.0 <sup>b</sup>	0.0364	0.419	0.133
18:00	6.1±0.3	5.0±0.2	5.5±0.4	6.3±1.4	0.449	0.007	0.781
20:00	0.2±0.0	0.2±0.0	0.2±0.0	0.2±0.0	0.109	0.176	0.373
16:1 n-7	5.3±0.5	4.8±0.7	4.1±0.2	3.6±1.4	0.037	0.938	0.290
16:1 n-9	0.5±0.0	0.5±0.0	0.3±0.1	0.3±0.0	0.001	0.470	0.624
18:1 n-7	2.7±0.3	2.7±0.2	2.2±0.3	2.1±0.4	0.010	0.852	0.997
18:1 n-9	34.7±1.3	29.1±2.1	29.1±1.4	31.0±1.5	0.071	0.003	0.078
20:1 n-9	2.1±0.3	1.7±0.3	1.5±0.1	1.8±0.4	0.240	0.093	0.837
18:2 n-6 CLA	15.0±1.9 <sup>b</sup>	24.2±1.2 <sup>a</sup>	11.2±1.8 <sup>b</sup>	6.9±0.6 <sup>c</sup>	0.001	0.001	0.021
18:3 n-3 ALA	0.7±0.1 <sup>c</sup>	1.1±0.1 <sup>c</sup>	15.3±2.0 <sup>b</sup>	20.6±2.3 <sup>a</sup>	0.000	0.021	0.012
18:3 n-6	0.6±0.1	0.7±0.1	0.7±0.1	0.6±0.1	0.278	0.188	0.956
20:3 n-3	0.2±0.0	0.1±0.0	0.2±0.1	0.3±0.1	0.054	0.136	0.458
20:4 n-3	0.5±0.4	0.6±0.2	0.6±0.1	0.5±0.1	0.965	0.570	0.837
20:4 n-6 ARA	0.9±0.2	0.8±0.1	0.9±0.1	0.8±0.4	0.761	0.899	0.355
20:5 n-3 EPA	1.1±0.8	1.3±0.7	1.1±0.4	0.8±0.2	0.466	0.455	0.940
22:4 n-6	0.9±0.2	0.7±0.2	0.6±0.2	0.7±0.1	0.065	0.152	0.346
22:5 n-3	0.5±0.2	0.8±0.4	1.0±0.0	0.7±0.3	0.250	0.144	0.891
22:5 n-6	1.0±0.2	0.9±0.4	0.8±0.1	0.6±0.1	0.069	0.878	0.309
22:6 n-3 DHA	1.0±0.1	2.2±0.9	2.5±1.2	1.4±1.2	0.550	0.087	0.918
SFA <sup>4</sup>	32.4±1.3 <sup>a</sup>	27.8±1.4 <sup>b</sup>	28.1±1.0 <sup>b</sup>	27.4±0.7 <sup>b</sup>	0.006	0.004	0.004
MUFA <sup>5</sup>	45.3±1.7 <sup>a</sup>	38.8±2.1 <sup>b</sup>	37.2±1.4 <sup>b</sup>	38.8±1.5 <sup>b</sup>	0.003	0.004	0.038
PUFA <sup>6</sup>	22.4±2.8 <sup>b</sup>	33.3±1.1 <sup>a</sup>	34.7±1.1 <sup>a</sup>	33.8±2.1 <sup>a</sup>	0.000	0.001	0.002
Σn-6	18.4±0.3 <sup>b</sup>	27.3±0.2 <sup>a</sup>	14.2±0.2 <sup>c</sup>	9.5±0.3 <sup>d</sup>	0.000	0.000	0.033
Σn-3	5.4±0.9 <sup>b</sup>	9.7±3.0 <sup>b</sup>	24.2±1.4 <sup>a</sup>	26.7±1.6 <sup>a</sup>	0.000	0.444	0.015
n-6/n-3	3.4±0.4	3.0±0.1	0.6±0.1	0.4±0.0	0.000	0.756	0.322

<sup>1</sup>Values are means ± SD ( $n = 3$ ) and values within the same row with different superscript letters are significantly different ( $p < 0.05$ ). <sup>2</sup>S = source of vegetable oil (Soybean or Linseed), <sup>3</sup>L = level of vegetable oil (15 or 30 g/kg). <sup>4</sup>SFA = saturated fatty acid, <sup>5</sup>MUFA = monounsaturated fatty acid, <sup>6</sup>PUFA = polyunsaturated fatty acid



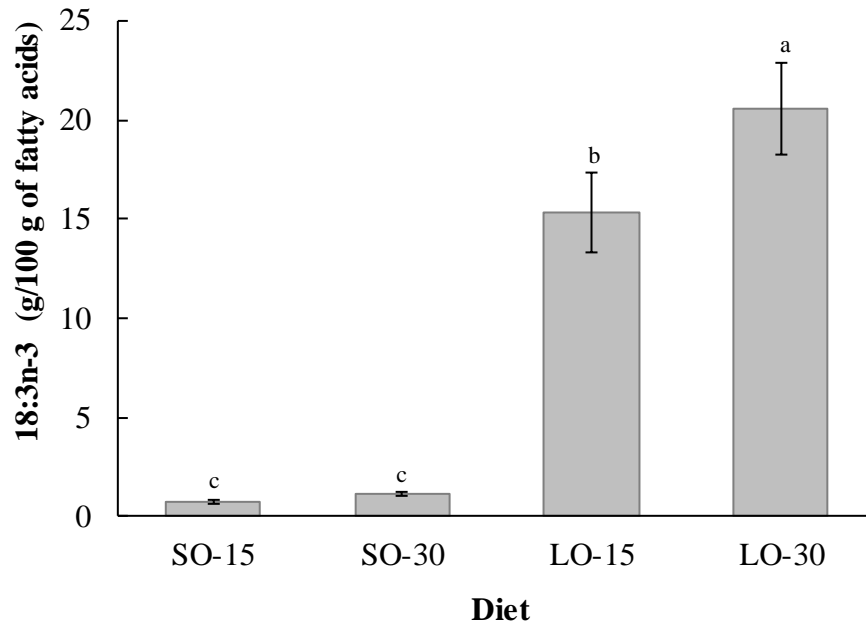


Figure 2.3 - Contents of  $\alpha$ -linolenic (18:3n-3) in the fillets of Nile fed diets containing different vegetable oils sources (SO = soybean oil or LO = linseed oil) and levels (15 or 30 g/kg). Values are means  $\pm$  SD ( $n = 3$ ) replicates. Values with different letters are significantly different ( $p < 0.05$ ).

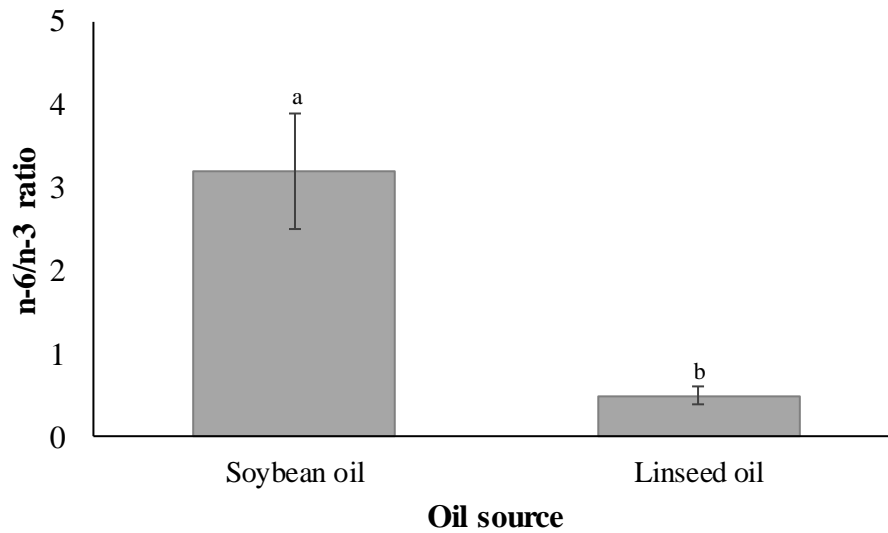


Figure 2.4 - Relationship between n-3/n-6 fatty acids in the fillets of Nile tilapia fed diets containing soybean oil or linseed oil. Values are means  $\pm$  SD ( $n = 3$ ) replicates. Values with different letters are significantly different ( $p < 0.05$ ).

### **2.3.2 Meat quality**

Color, water holding capacity, pH and hardness values measured in fillets of Nile tilapia fed experimental diets at one and seven days *post-mortem* were not influenced ( $p < 0.05$ ). The adhesiveness in the fillets at one and seven days *post-mortem* of fish fed linseed oil was significantly higher lower compared to groups fed soybean oil ( $p < 0.05$ ). At day one and seven days *post-mortem*, the chewiness in the fillets of fish fed 15 g/kg of soybean and linseed oils were higher than that observed in fish fed 30 g/kg of soybean and linseed oils ( $p < 0.05$ ).

Table 2.6 - Fillet quality of Nile tilapia analyzed one-day *post-mortem* of Nile tilapia fed diets containing different vegetable oils sources and levels<sup>1</sup>

Item		Soybean oil		Linseed oil		P		
		15 (g/kg)	30 (g/kg)	15 (g/kg)	30 (g/kg)	S <sup>2</sup>	L <sup>3</sup>	SxL
Color	L <sup>4</sup>	58.7 ± 1.3	60.2 ± 2.3	59.0 ± 1.7	58.9 ± 1.9	0.701	0.594	0.501
	a <sup>5</sup>	0.1 ± 0.0	0.3 ± 0.0	0.6 ± 0.0	-0.2 ± 0.8	0.967	0.544	0.250
	b <sup>6</sup>	7.7 ± 0.1	7.7 ± 0.7	8.4 ± 0.8	8.0 ± 0.5	0.262	0.632	0.707
WHC <sup>7</sup>		92.7 ± 1.1	90.8 ± 1.8	93.9 ± 0.1	97.8 ± 9.5	0.208	0.733	0.356
pH		6.7 ± 0.2	6.6 ± 0.2	6.8 ± 0.2	6.7 ± 0.2	0.380	0.051	0.329
Texture	H (N) <sup>8</sup>	14.9 ± 2.6	13.1 ± 1.9	16.1 ± 4.8	16.0 ± 5.2	0.399	0.668	0.683
	A (g/s) <sup>9</sup>	-0.2 ± 0.0 <sup>b</sup>	-0.2 ± 0.0 <sup>b</sup>	-0.1 ± 0.0 <sup>a</sup>	-0.1 ± 0.0 <sup>a</sup>	0.008	0.003	0.002
	C (N/cm) <sup>10</sup>	7.1 ± 0.3	5.6 ± 1.6	8.0 ± 0.9	5.5 ± 1.5	0.661	0.044	0.518

<sup>1</sup>Values are means ± SD (*n* = 3) and values within the same row with different superscript letters are significantly different (*P* < 0.05). <sup>2</sup>S = source of vegetable oil (Soybean or Linseed), <sup>3</sup>L = level of vegetable oil (15 or 30 g/kg), <sup>4</sup>L = luminosity; <sup>5</sup>a = intensity of red-green color; <sup>6</sup>b = intensity of yellow-blue color, WHC = water holding capacity; <sup>8</sup>H = hardness; <sup>9</sup>A = adhesiveness; <sup>10</sup>C = chewiness

Table 2.7 - Fillet quality of Nile tilapia analyzed seven-days *post-mortem* of Nile tilapia fed diets containing different vegetable oils sources and levels<sup>1</sup>

Item		Soybean oil		Linseed oil		P		
		15 (g/kg)	30 (g/kg)	15 (g/kg)	30 (g/kg)	S <sup>2</sup>	L <sup>3</sup>	SxL
Color	L <sup>4</sup>	59.2 ± 0.8	58.6 ± 1.9	59.7 ± 0.4	60.1 ± 1.8	0.285	0.929	0.559
	a <sup>5</sup>	0.2 ± 1.3	0.5 ± 0.3	0.3 ± 1.0	-0.3 ± 0.5	0.365	0.551	0.191
	b <sup>6</sup>	8.7 ± 0.9	83.0 ± 0.3	8.4 ± 1.7	8.1 ± 0.3	0.469	0.740	0.780
WHC <sup>7</sup>		90.6 ± 0.9	90.9 ± 0.4	94.2 ± 5.8	90.6 ± 0.9	0.385	0.397	0.322
pH		6.8 ± 0.2	6.6 ± 0.2	6.7 ± 0.2	6.7 ± 0.2	0.380	0.050	0.329
Texture	H (N) <sup>8</sup>	19.4 ± 2.7	12.2 ± 0.9	18.4 ± 3.9	11.6 ± 0.6	0.623	0.004	0.894
	A (g/s) <sup>9</sup>	-0.3 ± 0.0 <sup>b</sup>	-0.3 ± 0.1 <sup>b</sup>	-0.2 ± 0.2 <sup>a</sup>	-0.2 ± 0.1 <sup>a</sup>	0.001	0.619	0.033
	C (N/cm) <sup>10</sup>	9.9 ± 1.8	5.9 ± 0.6	9.8 ± 2.0	5.8 ± 0.4	0.935	0.005	0.997

<sup>1</sup>Values are means ± SD (n=3) and values within the same row with different superscript letters are significantly different (P < 0.05). <sup>2</sup>S = source of vegetable oil (Soybean or Linseed), <sup>3</sup>L = level of vegetable oil (15 or 30 g/kg), <sup>4</sup>L = luminosity; <sup>5</sup>a = intensity of red-green color; <sup>6</sup>b = intensity of yellow-blue color, WHC = water holding capacity; <sup>8</sup>H = hardness; <sup>9</sup>A = adhesiveness; <sup>10</sup>C = chewiness<sup>3</sup>

## 2.4 DISCUSSION

In the present work, large Nile tilapia responded well to all the experimental diets; enhanced growth of all groups indicated that linseed oil had positive effect on the growth and feed efficiency of the fish. In the present study, fish fed diet containing 30 g/kg of linseed meal showed improved body weight gain, feed intake and feed efficiency, protein efficiency ratio and fillet yield than fish fed other diets. Previous research has indicated that n-3 series PUFA, particularly  $\alpha$ -linolenic acid, are better absorbed from the linseed oil compared to that observed in Atlantic halibut, *Hippoglossus hippoglossus* fed herring, poultry fat, canola and sunflower oils (ALVES MARTINS; VALENTE; LALL, 2009). However, detrimental (ALVES MARTINS; VALENTE; LALL, 2007; GEAY et al., 2015) or no effect of linseed oil (MOURENTE; BELL, 2006) on growth performance of fish has also been reported. To date, no effects of linseed oil supplementation on growth, protein efficiency ratio, slaughter yield and fillet yield of Nile tilapia (20 to 483 g body weight) raised at optimal temperature ( $28.8 \pm 0.4$  °C) were previously reported (NG et al., 2013). However, recently research conducted with fingerlings Nile tilapia (10.6 to ~ 53.4 g) raised under suboptimal temperature demonstrated improved body weight gain, feed efficiency and dietary protein utilization of fish fed  $\alpha$ -linolenic supplemented diet (NOBREGA et al., 2017). According to the authors, the dietary requirement for this fish species is higher when fish is raised under suboptimal temperature (22 °C) compared to those raised under optimal temperature at 28 °C. Alpha-linoleic acid requirement was previously determined to be 11.4 g/kg for Nile tilapia (LI et al., 2013) reared under optimal temperature. In the present work fish only, fish fed soybean oil at 15 and 30 g/kg and linseed oil at 15 g/kg and 30 g/kg resulted in diets containing 0.8, 1.3, 9.7 and 17.8, respectively, and only fish fed 30 g/kg of linseed oil met the dietary requirement of  $\alpha$ -linoleic previously determined, and the higher growth performance may be attributed to the higher requirements because of the suboptimal temperature rearing condition used in this study. In addition, higher contents and more available energy from linseed oil compared to other fish oils, such as soybean oil evaluated in the present study, might improves other nutrients utilization by fish, as previously demonstrated in Atlantic salmon (ALVES MARTINS; VALENTE; LALL, 2009). So, estimating digestible energy values of vegetable oils for Nile tilapia should be considered in future studies for this fish species. Linseed oil is a rich source of  $\alpha$ -linolenic acid, corresponding to approximately 62% of total fatty acids (FRANCIS et al., 2006) and is particularly attractive for the development of food to meet with specific advantages to meet

highly  $\alpha$ -linolenic requirement of fish raised under suboptimal temperature, and also for the development of foods with health advantages for human.

In this study, there were no significant differences observed between dietary treatments for moisture, protein, total lipid and or ash content in fillets of market size Nile tilapia fed the experimental diets. Total lipid content was low in the fillet and represented approximated 2.5%, confirming early reported for commercially available tilapia fillets (CLADIS et al., 2014). No effect of dietary linseed oil inclusion on total lipids in the fillet composition was also reported in turbot, *Psetta maxima* (REGOST et al., 2003b), Nile tilapia (KARAPANAGIOTIDIS et al., 2007) and Senegalese sole, *Solea senegalensis* (REIS et al., 2014). However, higher body lipids in of Japanese Seabass, *Lateolabrax japonicus* (XU et al., 2015) and higher content of lipids in the fillets of red drum, *Sciaenops ocellatus* (LOCHMANN; GATLIN, 1993) fed diets supplemented with linseed oil have also been reported. These wide variation may be attributed to fish size and species and environmental rearing conditions (SALES; GLENCROSS, 2011). As reported previously for Nile tilapia (KARAPANAGIOTIDIS et al., 2007) and other fish species (WU; CHEN, 2012; AMINIKHOEI et al., 2013; GEAY et al., 2015; XU et al., 2016), the fatty acid compositions of muscle were directly influenced by dietary fatty acid input. In this study, the major sources of saturated and monounsaturated FA in muscle of fish were 16:0 and 18:1n-9, respectively, regardless of lipid source and level used, as previously described in Juvenile Rockfish, *Sebastes schlegeli* (AMINIKHOEI et al., 2013). The contents of 18:1n-9 in the fillet was higher than that of the feed regardless of the lipid source added, in agreement to observed for other species such as Juvenile Rockfish (AMINIKHOEI et al., 2013), sharpnose seabream, *Diplodus puntazzo* (PIEDECAUSA et al., 2007), rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (YILDIZ et al., 2015) and Nile tilapia (SZABO et al., 2011). The retention of 18:1n-9 in the liver may be attributed to the low activity of mitochondrial fatty acid oxidation enzymes in Nile tilapia (MONTERO et al., 2005).

The composition of 18:2n-6 and 18:3n-3 FA was higher in the fillet of fish fed soybean and linseed oils supplemented diets, respectively, whereas the composition of n-3 HUFA 20:5n-3 and 22:6n-3 in fillet of fish used in this research was lower, regardless of the vegetable oil supplemented, in agreement to observed in Nile tilapia fed vegetable oils source (KARAPANAGIOTIDIS et al., 2007; SZABO et al., 2011). Higher depositions of 20:5n-3 and 22:6n-3 in fillet of Nile tilapia may be modulated by marine fish oil supplementation (KARAPANAGIOTIDIS et al., 2007) and is naturally found in some wild marine fish species such as Atlantic cod, *Gadus morhua*, European anchovy, *Eugraulis encrasicolus* and Atlantic

Mackerel, *Scomber scombrus* (GUIL-GUERRERO et al., 2011) and also cultured fish such as bluefin tuna (NAKAMURA; ANDO; SEOKA, 2007) and Atlantic salmon (MENOYO et al., 2003).

In the present study, fish fed linseed oil showed reduced n-6/n-3 ratio in the fillets compared to those fed soybean oil diets, in agreement to previously described in European sea bass, *Dicentrarchus labrax* (MONTERO et al., 2005) and gilthead seabream, *Sparus aurata* (MONTERO et al., 2003; IZQUIERDO et al., 2005). The importance of the n-6/n-3 ratio has been discussed not only in the pathogenesis of cardiovascular diseases, but also considering cancer, inflammatory and autoimmune diseases and high n-6/n-3 ratio is considered detrimental for human health (RUSSO, 2009), while and increased levels of n-3PUFA, resulting in a low n-6/n-3 ratio, exert suppressive effects (SIMOPOULOS, 2002). In the present work, only fish fed linseed oil showed n-6/n-3 ratio recommended for the maintenance of human health, from 1:1 to 2:1 (GRANADOS et al., 2006). In this study, the n-6/n-3 ratio in fillets of fish fed diets containing linseed oil (~0.50:1) was similar to that previously described for this fish species (~0.45:1) fed diets containing linseed oil (NOBREGA et al., 2017). It is well known recognized that in humans  $\alpha$ -linolenic acid is an essential FA that cannot be synthesized by the body and must be supplied by dietary sources (STARK; CRAWFORD; REIFEN, 2008). The health benefits observed for n-3 FA have been attributed to the marine-derived long-chain n-3 FA eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA). However,  $\alpha$ -linolenic rich plant sources such as linseed meal is more abundant and may serve as a suitable alternative economic and sustainable source (RAJARAM, 2014).

In the present study, no effects of lipids sources on color, water holding capacity, pH and hardness were observed. Color alteration is generally caused by substitution of fish oil by linseed oil. Color of fillets is of great importance from the commercial point of view, being directly associated with the product acceptance or rejection by the consumers (IZQUIERDO et al., 2005). To date, in the present work soybean oil was replaced by linseed oil and no effect on fillet color was expected. Water holding capacity and pH in fillet of fish fed linseed oil were not affected in this study, and no deductive detrimental responses on oxidative satiability and consequently shelf-life occurred.

Reduction in fillet hardness of fish is commonly related to substitution of fish oil by vegetable oils and could be related to the lower saturated and higher total polyunsaturated FA contents in muscle (IZQUIERDO et al., 2005). However, in this work, soybean oil was

substituted by linseed oil and no effects on SFA and UFA were observed and response on fillet hardness was not expected. On the other hand, fish fed diet added with linseed oil showed higher adhesiveness than that observed in fish fed soybean oil diets. Higher adhesiveness was also reported in fillets of gilthead sea bream fed diets containing linseed oil compared to those fed fish oil (CASTRO et al., 2015). The effects of linseed oil on fillet adhesiveness was unsuspected in this study since soybean oil was substituted by linseed oil in this study and may be attributed to increased sum of MUFA and PUFA content compared to observed in fish fed soybean oil, where higher saturated FA contents were observed in the fillets.

The lower chewiness in fillet of fish fed 30 g/kg of linseed and soybean oils compared to those observed in fish fed 15 g/kg of these oils might be related to the higher content of lipids in the fillet, regardless no effect on hardness and lipids content in fillets were observed. Chewiness is the mouth feel sensation of labored mastication due to sustained, elastic resistance from the fish. Decrease in chewiness indicates that the fish muscle becomes soft (VIJI et al., 2015). The effect of dietary vegetable oils on chewiness property remains poor documented. Indeed, it is difficult to compare chewiness properties because of different levels of oils inclusion, time interval between slaughter and analyses, besides differences in age and species of fish used (REGOST et al., 2003a).

There is currently considerable interest in the intake of n-3 HUFA to provide health benefits in humans. For this reason, it is important to improve n-3HUFA levels in the finishing diet to provide a healthy product for human consumers. Based on results of this study, large Nile tilapia cultured under suboptimal temperature, might be optimized using diets enriched in  $\alpha$ -linolenic from linseed oil substituting traditional soybean oil to optimize growth performance, and also as strategic feed management to improve n-3 HUFA of the final product when designing diets for finishing tilapia production. In conclusion, large Nile tilapia fed linseed oil at 15 or 30 g/kg is effective to improve n-6/n-3 ratio. In addition, 30 g/kg of linseed oil is recommended to improve growth performance of large Nile tilapia reared under suboptimal temperature and fed fish meal-free diets.



## 2.5 REFERENCES

ALVES MARTINS, D.; VALENTE, L. M. .; LALL, S. P. Effects of dietary lipid level on growth and lipid utilization by juvenile Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*, L.). **Aquaculture**, v. 263, p. 150–158, 2007.

ALVES MARTINS, D.; VALENTE, L. M. P.; LALL, S. P. Apparent digestibility of lipid and fatty acids in fish oil, poultry fat and vegetable oil diets by Atlantic halibut, *Hippoglossus hippoglossus* L. **Aquaculture**, v. 294, n. 1–2, p. 132–137, 2009.

AMINIKHOEI, Z.; CHOI, J.; LEE, S.-M.; KIM, K.-D. Effects of Different Dietary Lipid Sources on Growth Performance, Fatty Acid Composition, and Antioxidant Enzyme Activity of Juvenile Rockfish, *Sebastes schlegeli*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 44, n. 5, p. 716–725, 2013.

BELL, J. G.; MCEVOY, J.; TOCHER, D. R.; MCGHEE, F.; CAMPBELL, P. J.; SARGENT, J. R. Replacement of fish oil with rapeseed oil in diets of Atlantic salmon (*Salmo salar*) affects tissue lipid compositions and hepatocyte fatty acid metabolism. **The Journal of nutrition**, v. 131, n. 5, p. 1535–43, 2001.

BLANCHARD, G.; MAKOMBU, J. G.; KESTEMONT, P. Influence of different dietary 18:3n-3/18:2n-6 ratio on growth performance, fatty acid composition and hepatic ultrastructure in Eurasian perch, *Perca fluviatilis*. **Aquaculture**, v. 284, n. 1–4, p. 144–150, 2008.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A RAPID METHOD OF TOTAL LIPID EXTRACTION AND PURIFICATION. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v. 37, n. 8, p. 911–917, 1959.

CASTRO, P. L.; CABALLERO, M. J.; GINÉS, R.; PENEDO, J. C.; MONTERO, D.; LASTILLA, M. T.; IZQUIERDO, M. Linseed oil inclusion in sea bream diets: Effect on muscle quality and shelf life. **Aquaculture Research**, v. 46, n. 1, p. 75–85, 2015.

CLADIS, D. P.; KLEINER, A. C.; FREISER, H. H.; SANTERRE, C. R. Fatty acid profiles of commercially available finfish fillets in the United States. **Lipids**, v. 49, n. 10, p. 1005–1018, 2014.

DALEPRANE, J. B.; BATISTA, A.; PACHECO, J. T.; DA SILVA, A. F. E.; COSTA, C. A.; RESENDE, Â. de C.; BOAVENTURA, G. T. Dietary flaxseed supplementation improves endothelial function in the mesenteric arterial bed. **Food Research International**, v. 43, n. 8, p. 2052–2056, 2010.

FAO. (**Food and Agriculture Organization**) - **The state of world fisheries and aquaculture**. Rome: FAO, 2014.

FRANCIS, D. S.; TURCHINI, G. M.; JONES, P. L.; DE SILVA, S. S. Effects of dietary oil source on growth and fillet fatty acid composition of Murray cod, *Maccullochella peelii peelii*. **Aquaculture**, v. 253, n. 1–4, p. 547–556, 2006.

FUKUMITSU, S.; AIDA, K.; SHIMIZU, H.; TOYODA, K. Flaxseed lignan lowers blood cholesterol and decreases liver disease risk factors in moderately hypercholesterolemic men. **Nutrition Research**, v. 30, n. 7, p. 441–446, 2010.

GEAY, F.; WENON, D.; MELLERY, J.; TINTI, E.; MANDIKI, S. N. M.; TOCHER, D. R.; DEBIER, C.; LARONDELLE, Y.; KESTEMONT, P. Dietary Linseed Oil Reduces Growth while Differentially Impacting LC-PUFA Synthesis and Accretion into Tissues in Eurasian Perch (*Perca fluviatilis*). **Lipids**, v. 50, n. 12, p. 1219–1232, 2015.

GRANADOS, S.; QUILES, J. L.; GIL, A.; RAMÍREZ-TORTOSA, M. C.; DEL CARMEN RAMÍREZ-TORTOSA, M. Artículo Lípidos de la dieta y cáncer. **Nutr. Hosp**, v. 21, n. 2, p. 44–54, 2006.

GUIL-GUERRERO, L.; VENEGAS-VENEGAS, E.; MIGUEL, A.; SUA, D. Fatty acid profiles of livers from selected marine fish species. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 24, p. 217–222, 2011.

GUILLEVIC, M.; KOUBA, M.; MOUROT, J. Effect of a linseed diet on lipid composition, lipid peroxidation and consumer evaluation of French fresh and cooked pork meats. **Meat Science**, v. 81, n. 4, p. 612–618, 2009.

HARPER, C. R.; EDWARDS, M. J.; DEFILIPIS, A. P.; JACOBSON, T. a. Flaxseed oil increases the plasma concentrations of cardioprotective (n-3) fatty acids in humans. **The Journal of Nutrition and Disease**, v. 136, n. August 2005, p. 83–87, 2006.

HERNÁNDEZ, J.; DE LA PARRA, A. M.; LASTRA, M.; VIANA, M. T. Effect of lipid composition of diets and environmental temperature on the performance and fatty acid composition of juvenile European abalone (*Haliotis tuberculata* L. 1758). **Aquaculture**, v. 412–413, p. 34–40, 2013.

IZQUIERDO, M. S.; MONTERO, D.; ROBAINA, L.; CABALLERO, M. J.; ROSENLUND, G.; GINÉS, R. Alterations in fillet fatty acid profile and flesh quality in gilthead seabream (*Sparus aurata*) fed vegetable oils for a long term period. Recovery of fatty acid profiles by fish oil feeding. **Aquaculture**, v. 250, n. 1–2, p. 431–444, 2005.

JOSEPH, J. D.; ACKMAN, R. G. Analysis of encapsulated fish oil and fish oil ethyl esters:

collaborative study. **Journal of AOAC INTERNATIONAL**, v. 75, p. 488–506, 1992.

KARAPANAGIOTIDIS, I. T.; BELL, M. V.; LITTLE, D. C.; YAKUPITIYAGE, A. Replacement of dietary fish oils by alpha-linolenic acid-rich oils lowers omega 3 content in tilapia flesh. **Lipids**, v. 42, n. 6, p. 547–559, 2007.

KATARE, C.; SAXENA, S.; AGRAWAL, S.; PRASAD, G. Flax Seed: A Potential Medicinal Food. **Journal of Nutrition & Food Sciences**, v. 2, n. 1, 2012.

LI, E.; LIM, C.; KLESIUS, P. H.; WELKER, T. L. Growth, Body Fatty Acid Composition, Immune Response, and Resistance to *Streptococcus iniae* of Hybrid Tilapia, *Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*, Fed Diets Containing Various Levels of Linoleic and Linolenic Acids. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 44, n. 1, p. 42–55, 2013.

LOCHMANN, R. T.; GATLIN, D. M. Evaluation of different types and levels of triglycerides, singly and in combination with different levels of n-3 highly unsaturated fatty acid ethyl esters in diets of juvenile red drum, *Sciaenops ocellatus*. **Aquaculture**, v. 114, n. 1–2, p. 113–130, 1993.

MENOYO, D.; LOPEZ-BOTE, C. J.; BAUTISTA, J. M.; OBACH, A. Growth, digestibility and fatty acid utilization in large Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed varying levels of n-3 and saturated fatty acids. **Aquaculture**, v. 225, n. 1–4, p. 295–307, 2003.

MONTERO, D.; KALINOWSKI, T.; OBACH, A.; ROBAINA, L.; TORT, L.; CABALLERO, M. J.; IZQUIERDO, M. S. Vegetable lipid sources for gilthead seabream (*Sparus aurata*): Effects on fish health. **Aquaculture**, v. 225, n. 1–4, p. 353–370, 2003.

MONTERO, D.; ROBAINA, L.; CABALLERO, M. J.; GINÉS, R.; IZQUIERDO, M. S.

Growth, feed utilization and flesh quality of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fed diets containing vegetable oils: A time-course study on the effect of a re-feeding period with a 100% fish oil diet. **Aquaculture**, v. 248, n. 1–4, p. 121–134, 2005.

MOURENTE, G.; BELL, J. G. Partial replacement of dietary fish oil with blends of vegetable oils (rapeseed, linseed and palm oils) in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) over a long term growth study: Effects on muscle and liver fatty acid composition and effectiveness. **Comparative Biochemistry and Physiology - B Biochemistry and Molecular Biology**, v. 145, n. 3–4, p. 389–399, 2006.

NAKAMURA, Y.; ANDO, M.; SEOKA, M. Food Chemistry Changes of proximate and fatty acid compositions of the dorsal and ventral ordinary muscles of the full-cycle cultured Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* with the growth. v. 103, p. 234–241, 2007.

NG, W. K.; CHONG, C. Y.; WANG, Y.; ROMANO, N. Effects of dietary fish and vegetable oils on the growth, tissue fatty acid composition, oxidative stability and vitamin E content of red hybrid tilapia and efficacy of using fish oil finishing diets. **Aquaculture**, v. 372–375, p. 97–110, 2013.

NOBREGA, R. O.; CORRÊA, C. F.; MATTIONI, B.; FRACALOSSO, D. M. Dietary  $\alpha$ -linolenic for juvenile Nile tilapia at cold suboptimal temperature. **Aquaculture**, v. 471, p. 66–71, 2017.

NRC. **National Research Council - Nutrient Requirements of fish and shrimp**. Washington: National Academy Press, 2011.

PENG, X.; LI, F.; LIN, S.; CHEN, Y. Effects of total replacement of fish oil on growth performance, lipid metabolism and antioxidant capacity in tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture International**, v. 24, n. 1, p. 145–156, 2016.

PIEDECAUSA, M. A.; MAZÓN, M. J.; GARCÍA GARCÍA, B.; HERNÁNDEZ, M. D. Effects of total replacement of fish oil by vegetable oils in the diets of sharpsnout seabream (*Diplodus puntazzo*). **Aquaculture**, v. 263, n. 1–4, p. 211–219, 2007.

PILAR, B. C.; GÜLLICH, A. A. da C.; STRÖHER, D. J.; ZURAVSKI, L.; MEZZOMO, J.; COELHO, R. P.; FAORO, D.; PICCOLI, J. da C. E.; MANFREDINI, V. 28-Days Dietary Supplementation With Golden Flaxseed Improves Biochemical and Oxidative Parameters in Patients With Metabolic Syndrome. **Journal of Functional Foods**, v. 10, p. 232–242, 2014.

POPA, V.-M.; GRUIA, A.; RABA, D.-N.; DUMBRAVA, D.; MOLDOVAN, C.; BORDEAN, D.; MATEESCU, C. Fatty acids composition and oil characteristics of linseed (*Linum Usitatissimum* L.) from Romania. **Journal of Agroalimentary Processes and Technologies**, v. 18, n. 2, p. 136–140, 2012.

PRASAD, K. Flaxseed and cardiovascular health. **Journal of Cardiovascular Pharmacology**, v. 54, n. 5, p. 369–377, 2009.

RAJARAM, S. Health benefits of plant-derived alpha-linolenic acid. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 100, n. (suppl)1, p. 443–448, 2014.

REGOST, C.; ARZEL, J.; CARDINAL, M.; ROSENLUND, G.; KAUSHIK, S. J. Total replacement of fish oil by soybean or linseed oil with a return to fish oil in turbot (*Psetta maxima*) 2. Flesh quality properties. **Aquaculture**, v. 220, n. 1–4, p. 737–747, 2003a.

REGOST, C.; ARZEL, J.; ROBIN, J.; ROSENLUND, G.; KAUSHIK, S. J. Total replacement of fish oil by soybean or linseed oil with a return to fish oil in turbot (*Psetta maxima*) 1. Growth performance, flesh fatty acid profile, and lipid metabolism. **Aquaculture**, v. 217, n. 1–4, p. 465–482, 2003b.

REIS, B.; CABRAL, E. M.; FERNANDES, T. J. R.; CASTRO-CUNHA, M.; OLIVEIRA, M. B. P. P.; CUNHA, L. M.; VALENTE, L. M. P. Long-term feeding of vegetable oils to Senegalese sole until market size: Effects on growth and flesh quality. Recovery of fatty acid profiles by a fish oil finishing diet. **Aquaculture**, v. 434, p. 425–433, 2014.

RUSSO, G. L. Dietary n - 6 and n - 3 polyunsaturated fatty acids: From biochemistry to clinical implications in cardiovascular prevention. **Biochemical Pharmacology**, v. 77, n. 6, p. 937–946, 2009.

SALES, J.; GLENCROSS, B. A meta-analysis of the effects of dietary marine oil replacement with vegetable oils on growth, feed conversion and muscle fatty acid composition of fish species. **Aquaculture Nutrition**, v. 17, n. 2, 2011.

SANTHA, N. C.; ACKMAN, R. G. Nervonic acid versus tricosanoic acid as internal standards in quantitative gas chromatographic analyses of fish oil longer- chain n- 3 polyunsaturated fatty acid methyl esters. **Journal of Chromatography B**, v. 533, p. 1–10, 1990.

SIMOPOULOS, A. P. The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. **Biomedicine and Pharmacotherapy**, v. 56, n. 8, p. 365–379, 2002.

STARK, A. H.; CRAWFORD, M. A.; REIFEN, R. Update on alpha-linolenic acid. **Nutrition Reviews**, v. 66, n. 6, p. 326–332, 2008.

SZABO, A.; MÉZES, M.; HANCZ, C.; MOLNÁR, T.; VARGA, D.; ROMVÁRI, R.; FÉBEL, H. Incorporation dynamics of dietary vegetable oil fatty acids into the triacylglycerols and phospholipids of tilapia (*Oreochromis niloticus*) tissues (fillet, liver, visceral fat and gonads). **Aquaculture Nutrition**, v. 17, p. e132–e147, 2011.

VIII, P.; TANUJA, S.; NINAN, G.; LALITHA, K. V.; ZYNUDHEEN, A. A.; BINSI, P. K.; SRINIVASAGOPAL, T. K. Biochemical, textural, microbiological and sensory attributes of gutted and ungutted sutchi catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*) stored in ice. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 6, p. 3312–3321, 2015.

WANG, Q.; HE, G.; MAI, K. Modulation of lipid metabolism, immune parameters, and hepatic transferrin expression in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.) by increasing dietary linseed oil levels. **Aquaculture**, v. 464, p. 489–496, 2016.

WIJEKOON, M. P. A.; PARRISH, C. C.; MANSOUR, A. Reprint of “Effect of dietary substitution of fish oil with flaxseed or sunflower oil on muscle fatty acid composition in juvenile steelhead trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared at varying temperatures”. **Aquaculture**, v. 447, p. 108–115, 2015.

WU, F.-C.; CHEN, H. Effects of dietary linolenic acid to linoleic acid ratio on growth, tissue fatty acid profile and immune response of the juvenile grouper *Epinephelus malabaricus*. **Aquaculture**, v. 324–325, p. 111–117, 2012.

XU, H.; DONG, X.; ZUO, R.; MAI, K.; AI, Q. Response of juvenile Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*) to different dietary fatty acid profiles: Growth performance, tissue lipid accumulation, liver histology and flesh texture. **Aquaculture**, v. 461, p. 40–47, 2016.

XU, H.; ZHANG, Y.; WANG, J.; ZUO, R.; MAI, K.; AI, Q. Replacement of Fish Oil with Linseed Oil or Soybean Oil in Feeds for Japanese Seabass, *Lateolabrax japonicus*: Effects on Growth Performance, Immune Response, and Tissue Fatty Acid Composition. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 46, n. 4, p. 349–362, 2015.

YILDIZ, M.; KÖSE, İ.; ISSA, G.; KAHRAMAN, T. Effect of different plant oils on growth performance, fatty acid composition and flesh quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture Research**, v. 46, n. 12, p. 2885–2896, 2015.



## CAPÍTULO 3

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

- a) O óleo de linhaça é um alimento funcional como fonte do ácido graxo  $\alpha$ -linolênico, com efeitos positivos sobre o crescimento, conversão alimentar, retenção de proteína e rendimento em dietas de terminação de tilápias do Nilo;
- b) A suplementação de 30,0 g/kg de óleo de linhaça promove melhor desempenho produtivo, melhorando o perfil de ácidos graxos nos filés, sem efeitos negativos sobre o tempo de prateleira;
- c) O óleo de linhaça é uma fonte rica de ácido graxo  $\alpha$ -linolênico, resultando em uma diminuição na relação de ácidos graxos n-6/n-3 nos filés, atingindo valor recomendado para a saúde humana;
- d) Recomenda-se análise sensorial para avaliar possíveis efeitos da inclusão de linhaça sobre aceitabilidade dos filés, considerando que o consumo na forma de sashimi ocorre com o produto “*in natura*”;
- e) A substituição do óleo de soja por óleo de linhaça, independentemente do nível de inclusão, não afeta a dureza do filé;
- f) É possível modular o enriquecimento e perfil de ácidos graxos de filés de tilápia pela dieta, resultando em produto de melhor valor nutritivo para a saúde humana.