



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA

MICHELE CRISTINA VIEIRA

**Digestibilidade do ácido graxo α -linolênico para tilápia-do-nilo em temperatura
subótima**

Florianópolis

2022

Michele Cristina Vieira

**Digestibilidade do ácido graxo α -linolênico para tilápia-do-nilo em temperatura
subótima**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Aquicultura da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Aquicultura

Orientadora: Dra. Débora Machado Fracalossi
Coorientadora: Dra. Bruna Mattioni

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Vieira, Michele Cristina

Digestibilidade do ácido graxo ω -linolênico para tilápia do-nilo em temperatura subótima / Michele Cristina Vieira ; orientadora, Débora Machado Fracalossi, coorientadora, Bruna Mattioni, 2022.

32 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós Graduação em Aquicultura, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Aquicultura. 2. Oreochromis niloticus. 3. Temperatura. 4. Digestibilidade. 5. Ácidos graxos. I. Fracalossi, Débora Machado . II. Mattioni, Bruna . III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Aquicultura. IV. Título.

Michele Cristina Vieira

Digestibilidade do ácido graxo α -linolênico para tilápia-do-nilo em temperatura subótima

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Profª. Débora Machado Fracalossi, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Robson Andrade Rodrigues, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Profª. Anita Rademaker Valença, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Aquicultura.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Profª. Débora Machado Fracalossi, Dra.
Orientadora

Florianópolis, 2022.

Este trabalho é dedicado aos meus queridos pais e aos meus verdadeiros e eternos amigos, que em tempos difíceis, nunca soltaram a minha mão.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter me sustentado diante dos processos difíceis e dolorosos os quais a vida nos traz como forma de lição e aprendizado. À minha família, instituição divina, que com planejamento que antecede esta vida física, tem contribuído para meu crescimento espiritual.

Quero agradecer a minha orientadora, Dr.^a Débora Machado Fracalossi, por todos esses anos de ensinamentos, pela confiança, paciência e principalmente pela amizade durante o trabalho desenvolvido.

À minha Co-orientadora, Bruna Mattioni, pela amizade, apoio, incentivo, paciência, por todo o esforço em me ajudar a realizar esse trabalho e por toda contribuição ao meu crescimento profissional. À minha querida Renata Oselame Nóbrega, pela amizade de todos esses anos, ajuda na realização desse trabalho e pelos ensinamentos. Eu nunca terei palavras suficientes para agradecer todo suporte que ambas me deram durante todos esses anos no LABNUTRI. Obrigada Maria Fernanda Oliveira da Silva, por sempre estar à disposição de ajudar a todos e por esses anos todos de amizade.

Aos colegas, companheiros e funcionários do LABNUTRI e LAPAD, muito obrigada. Vocês fazem parte dessa conquista.

À Fundação de Amparo à Pesquisa de Santa Catarina (FAPESC) pela contribuição financeira na forma de bolsa de estudos. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil - (CAPES) - Código de Financiamento 001.

À Coordenação e a todos os professores do PPGAQI-UFSC.

Aos membros da banca examinadora, Dr. Robson Andrade Rodrigues e Dr.^a Anita R. Valença pela disponibilidade de participar da avaliação desse trabalho e acrescentar valiosas contribuições à esta dissertação.

A todos que de alguma forma contribuíram para minha formação durante todos estes anos de estudos na UFSC.

RESUMO

Os óleos vegetais, particularmente o de linhaça, por ser fonte de ácido linoleico (α -LNA, 18:3n-3), são considerados como alternativas para substituição ao óleo de peixe em rações aquícolas. Deste modo, avaliar a digestibilidade dos seus ácidos graxos bem como de outros nutrientes em dietas no qual o mesmo é suplementado, é o primeiro passo para possibilitar seu uso na formulação e elaboração de dietas para a tilápia-do-nylo. Neste estudo, o objetivo foi quantificar a digestibilidade da proteína, lipídios e ácidos graxos de dietas contendo níveis crescentes de óleo de linhaça, adicionados a uma mistura de óleos vegetais, gerando as seguintes concentrações de α -LNA: 0,03; 0,67 e 0,99% do peso seco da dieta. As dietas experimentais, contendo 5% de lipídio, eram isonitrogenadas, isoenergéticas e isolipídicas. Foram utilizados como base óleo de palmiste, óleo de oliva e óleo de girassol. Para obtenção dos níveis crescentes de α -LNA foi acrescentado óleo de linhaça, em substituição ao óleo de palmiste, resultando num aumento nos níveis de PUFA e numa queda nos níveis de SFA e MUFA. Os coeficientes de digestibilidade aparente da maioria dos ácidos graxos ficaram acima de 80%, sendo afetados pela quantidade e fonte do óleo de linhaça na mistura. De forma geral, percebeu-se que, em temperatura subótima fria, o aumento da suplementação dietética de α -LNA aumenta a digestibilidade dos nutrientes da dieta e de alguns ácidos graxos, principalmente aqueles com menor ponto de fusão. A suplementação com a maior concentração dietética de α -LNA testada, 0,99%, melhorou significativamente a digestibilidade da proteína, lipídio, MUFA e PUFAs.

Palavras-chave: Aquicultura, *Oreochromis niloticus*, Temperatura, Digestibilidade, Ácidos graxos.

ABSTRACT

Plant oils, particularly linseed, as a source of linoleic acid (α -LNA, 18:3n-3), are considered alternatives to replace fish oil in aquafeeds. Thus, evaluating nutrient digestibility, when linseed oil is supplemented, is the first step to enable its use in the formulation and elaboration of diets for Nile tilapia. In this study, the objective was to quantify the digestibility of protein, lipids, and fatty acids of diets containing increasing levels of linseed oil, added to a mixture of vegetable oils, generating the following concentrations of α -LNA: 0.03; 0.67, and 0.99% diet dry weight. The experimental diets, containing 5% lipid, were isonitrogenous, isoenergetic, and isolipidic. Palm kernel oil, olive oil, and sunflower oil were used in the basal diet. To obtain increasing levels of α -LNA, linseed oil was added, replacing palm kernel oil, resulting in an increase in PUFA levels and a decrease in SFA and MUFA levels. The apparent digestibility coefficients of most fatty acids were above 80%, being affected by the amount and source of linseed oil in the diet. Our findings show that, at suboptimal cold temperatures, increasing dietary α -LNA supplementation increases the digestibility of dietary nutrients and selected fatty acids, especially those with lower melting points. Supplementation with the highest dietary concentration of α -LNA tested, 0.99%, significantly improved the digestibility of protein, lipid, MUFAs, and PUFAs.

Keywords: Aquacultures, *Oreochromis niloticus*, Temperature, Digestibility, Fatty acids.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Modelo de bola e bastão do (a) ácido esteárico, 18:0; (b) ácido eleidico, 18:1*t*; e (c) ácido oleico, 18:1*c*. 14
- Figura 2 – O diagrama simplificado mostra os padrões de empacotamento de ácidos graxos na fase sólida. (a) e (b): Caudas de hidrocarbonetos (linhas retas) alinhadas em ângulos diferentes em relação à linha das cabeças polares (círculos). (c): Empacotamento da cabeça à cauda. (d): empacotamento cabeça à cabeça..... 15

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Formulação e composição das dietas experimentais	23
Tabela 2 – Perfil de ácidos graxos (em mg. g ⁻¹) de lipídio das dietas experimentais.....	24
Tabela 3 – Coeficiente de digestibilidade aparente (CDA) de nutrientes selecionados para juvenis de tilápia-do-nylo, quando alimentados com dietas contendo três níveis de α -linolênico	28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AG	ácidos graxos
SFA	ácidos graxos saturados
MUFA	ácidos graxos monoinsaturados
PUFA	ácidos graxos poli-insaturados
LC-PUFA	ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa
OLA (18:1n-9)	ácido oleico
LOA (18:2n-6)	ácido linoleico
α -LNA (18:3n-3)	ácido α -linolênico
ARA (20:4n-6)	ácido araquidônico
EPA (20:5n-3)	ácido eicosapentaenoico
DHA (22:6n-3)	ácido docosahexaenoico
n-3	série n-3 (ômega-3)
n-6	série n-6 (ômega-6)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	12
1.1	Ácidos graxos	13
1.2	Ácidos graxos essenciais para tilápia-do-nilo e a temperatura ambiente	15
1.3	Digestibilidade de ácidos graxos em tilápia e a temperatura.....	17
1.4	OBJETIVOS	19
1.4.1	Objetivo Geral	19
1.4.2	Objetivos Específicos	19
2	ARTIGO CIENTÍFICO.....	20
2.1	INTRODUÇÃO	21
2.2	MATERIAL E MÉTODOS	22
2.2.1	Dietas experimentais.....	22
2.2.2	Ensaio de digestibilidade	24
2.2.3	Análises químicas	26
2.2.4	Análise estatística	26
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4	CONCLUSÃO.....	29
	REFERÊNCIAS.....	30

1 INTRODUÇÃO GERAL

No segmento de produção animal, a aquicultura, que abrange a produção de diferentes organismos aquáticos, encontra-se em crescimento acelerado nos últimos anos. Dados divulgados no relatório *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020* (FAO, 2020) afirmam que a média mundial de consumo de pescado bateu recorde em 2018, atingindo 20,5 kg *per capita* por ano e que a produção total de peixes deve expandir de 179 milhões de toneladas, em 2018, para 204 milhões de toneladas, em 2030.

A tilápia-do-nilo *Oreochromis niloticus* é uma das espécies mais importantes para a piscicultura devido a sua alta taxa de crescimento, adaptabilidade em diversas condições e criação, além de boa aceitação pelo consumidor (SCHULTER; FILHO, 2017). No contexto mercadológico mundial, segundo o Relatório citado acima (FAO, 2020), a tilápia já é o terceiro peixe mais cultivado no mundo, sendo superado apenas pelas carpas, que ocupam os primeiros lugares.

A tilapicultura no Brasil teve seu início na década de 1970. Apesar de não ser uma espécie nativa, a tilápia-do-nilo, principal espécie produzida no Brasil, foi introduzida juntamente com a tilápia de Zanzibar (*Oreochromis hornorum*), pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), em 1971, com o intuito de proporcionar a produção de juvenis para o repovoamento dos reservatórios públicos da região Nordeste e para o fomento da criação (SCHULTER; FILHO, 2017).

A tilápia-do-nilo é uma espécie tropical, sendo que as temperaturas associadas ao conforto térmico, considerando-se um melhor consumo de alimento e crescimento, estão entre 29 e 31 °C (POPMA; LOVSHIN, 1996). A espécie se adapta a uma faixa ampla de temperatura, mas verifica-se redução significativa no consumo alimentar já em temperaturas de 22 °C (AZAZA; DHRAÏEF; KRAÏEM, 2008; CORRÊA et al., 2017). Essa ressalva é perceptível em regiões de baixas temperaturas, onde, mortalidades de tilápia foram relacionadas ao inverno severo, causando perdas consideráveis para a economia da indústria (SHI et al., 2015).

A determinação das exigências nutricionais da tilápia-do-nilo em temperatura subótima fria é importante para a produção de dietas eficientes que garantam a manutenção do crescimento e saúde nestas condições. É importante ressaltar que em importantes países produtores desta espécie, tais como China, Egito e Brasil (NOBREGA et al., 2017), a produção ocorre em regiões com clima subtropical. Apesar de numerosos estudos sobre a influência da dieta na composição de ácidos graxos em peixes, poucos são os que investigam tal influência quando peixes são mantidos em temperatura subótima (HSIEH et al., 2007).

Sendo o sul do Brasil a maior região produtora de tilápia nilótica no país (PEIXE BR, 2021), se faz necessário entender a utilização de ácidos graxos pela tilápia-do-nilo em condições subótimas de temperatura e, assim, desenvolver tecnologias para aperfeiçoar a produção dessa espécie em regiões subtropicais.

1.1 ÁCIDOS GRAXOS

As gorduras e os óleos da dieta são fontes de energia para os organismos vivos e são derivados de ácidos graxos. Os ácidos graxos são derivados de hidrocarbonetos, com estado de oxidação quase tão baixo (ou seja, altamente reduzido) quanto os hidrocarbonetos encontrados nos combustíveis fósseis (NELSON, DAVID L.; COX, 2014).

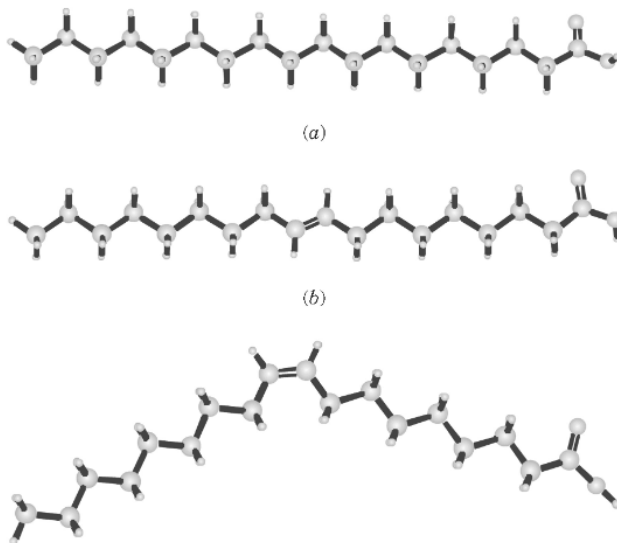
Os ácidos graxos são responsáveis pela produção de energia, mas também têm função estrutural nas membranas celulares, além de atuarem como precursores de hormônios e outras moléculas bioativas (GLENCROSS, 2009; NRC, 2011). São constituídos de uma cadeia de hidrocarbonetos, que varia de tamanho e número de insaturações (ligações duplas), sendo classificados em grupos químicos de acordo com o número de duplas ligações na cadeia de hidrocarbonetos. Os que não possuem ligações insaturadas, denominados ácidos graxos saturados (SFA, do inglês *saturated fatty acids*), os com apenas uma ligação insaturada, chamados de monoinsaturados (MUFA, *monounsaturated fatty acids*) e aqueles com duas ou mais ligações insaturadas, referidos como ácidos graxos poli-insaturados (PUFA, *polyunsaturated fatty acids*) (GLENCROSS, 2009). Ainda, quando os PUFA possuem 20 a 22 carbonos e 4 a 6 insaturações em sua cadeia, são classificados como LC-PUFA (*long-chain polyunsaturated fatty acids*) (GLENCROSS, 2009). Os PUFA também são nomeados pela localização da primeira ligação dupla, contada a partir da extremidade da cadeia metila, isto é, o carbono mais distante do grupo carboxila, dando origem, assim, às séries ou famílias n-3, n-6 e n-9 (NELSON, DAVID L.; COX, 2014).

A nomenclatura sistemática dos ácidos graxos é complexa; assim, usam-se nomes mais curtos. Assim, dois números separados por dois pontos fornecem, respectivamente, o comprimento da cadeia e o número de ligações duplas: o ácido octadecenóico com 18 carbonos e 1 ligação dupla é, portanto, representado como 18:1. A posição das ligações duplas é indicada de várias maneiras: explicitamente, definindo a posição e configuração; ou, ainda, localizando ligações duplas em relação à extremidade do grupo metil da cadeia. A posição da ligação dupla em relação à extremidade metil é mostrada como n-x ou ω x, onde x é o número de carbonos da extremidade metil. O sistema n é agora o mais usado. A posição da primeira ligação dupla do

final carboxílico é designada por x. Os nomes comuns podem ser históricos, muitas vezes não transmitindo informações estruturais, ou abreviações de nomes sistemáticos (SCRIMGEOUR et al., 2005). Este mesmo autor ainda descreve a existência de mais de 1000 ácidos graxos conhecidos, mas apenas 20 ou menos são encontrados em quantidades significativas nos óleos e gorduras de importância comercial. Os ácidos graxos mais comuns são C16 e C18; abaixo dessa faixa, são caracterizados como ácidos de cadeia curta ou média e, acima dela, como ácidos de cadeia longa.

A estrutura básica de um ácido graxo é uma cadeia hidrofóbica com um grupo polar hidrofílico em uma extremidade, conferindo aos ácidos graxos e seus derivados propriedades distintas, refletidas em seu uso alimentar e industrial. Os ácidos graxos saturados têm uma cadeia hidrocarbonada reta. A dupla ligação *trans* é acomodada com pouca mudança na forma, mas a *cis* introduz uma curva pronunciada na cadeia (Fig. 1) (SCRIMGEOUR et al., 2005).

Figura 1: modelo de bola e bastão do (a) ácido esteárico, 18:0; (b) ácido eleidico, 18:1 t ; e (c) ácido oleico, 18:1 c .

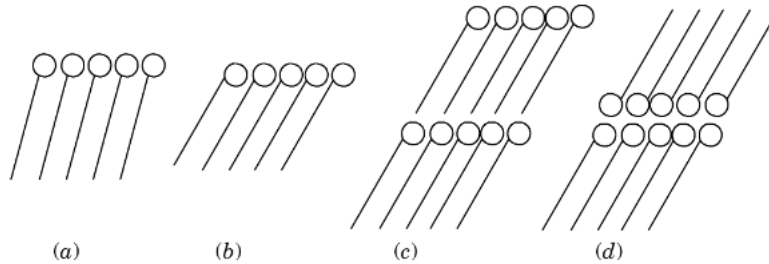


Fonte: Scrimgeour, 2005.

Na fase sólida, os ácidos graxos e compostos relacionados se empacotam com as cadeias de hidrocarbonetos alinhadas e, geralmente, os grupos polares juntos. Os detalhes do empacotamento, como os ângulos da célula unitária e o arranjo cabeça-cauda ou cabeça-cabeça, dependem da estrutura do ácido graxo (Fig. 2). O ponto de fusão aumenta com o comprimento da cadeia e diminui com o aumento da insaturação. Entre os ácidos saturados, os ácidos de cadeia ímpar têm um ponto de fusão mais baixo do que os ácidos de cadeia par adjacentes.

A presença de ligações duplas *cis* diminui marcadamente o ponto de fusão, sendo que, nesta configuração, as cadeias dobradas não se compactam bem (SCRIMGEOUR et al., 2005).

Figura 2. O diagrama simplificado mostra os padrões de empacotamento de ácidos graxos na fase sólida. (a) e (b): Caudas de hidrocarbonetos (linhas retas) alinhadas em ângulos diferentes em relação à linha das cabeças polares (círculos). (c): empacotamento da cabeça à cauda. (d): empacotamento cabeça à cabeça.



1.2 ÁCIDOS GRAXOS ESSENCIAIS PARA TILÁPIA-DO-NILO E A TEMPERATURA AMBIENTE

A variação na temperatura ambiente afeta todos os organismos vivos, especialmente os ectotérmicos como os peixes, que dependem de uma fonte externa de calor para manter a temperatura corporal adequada a sua sobrevivência. Assim, os ectotérmicos desenvolveram mecanismos de adaptação específicos para manter a homeostase fisiológica do organismo, quando em temperatura ambiente desfavorável para seu desenvolvimento e sobrevivência (WEBER; BOSWORTH, 2005). Entre eles, está o aumento nos níveis de insaturação dos ácidos graxos dos fosfolípidios que compõem as membranas celulares. Isso por que, quanto mais duplas ligações na moléculas, menor será o seu ponto de fusão, mantendo assim a funcionalidade das membranas, mesmo em baixas temperaturas (TURCHINI; NG; TOCHER, 2010). Portanto, tal mecanismo implica a incorporação de PUFA nas membranas, especialmente os LC-PUFA n-3, cuja configuração permite um maior grau de insaturação na molécula. As insaturações alteram a conformação dos ácidos graxos que fazem parte da camada bi lipídica das membranas, favorecendo o funcionamento destas, em temperaturas mais baixas ou em ambientes com maior salinidade.

Cinco ácidos graxos são considerados essenciais para a maioria das espécies de peixes: ácido linoleico (LOA, 18:2 n-6), ácido alfa-linolênico (α -LNA, 18:3 n-3), ácido araquidônico (ARA, 20:4 n-6), ácido eicosapentaenoico (EPA, 20:5 n-3) e ácido docosaenoico (DHA, 22:6 n-3) (TURCHINI; NG; TOCHER, 2010). Em geral, as espécies de peixes de águas

continentais (menor salinidade) e clima quente, possuem maior expressão e atividade das enzimas dessaturases e elongases específicas, responsáveis pela biossíntese de LC-PUFA a partir dos seus PUFA precursores (LOA e α -LNA), quando presentes na dieta (GLENCROSS, 2009). Provavelmente isso acontece porque estas espécies evoluíram em *habitat* com pouca disponibilidade de alimentos ricos em LC-PUFA (águas continentais) (GLENCROSS, 2009). Já as espécies marinhas, apesar de possuírem dessaturases e elongases, as mesmas apresentam baixa atividade, tornando essencial a presença de LC-PUFA na dieta (GLENCROSS, 2009; TURCHINI; NG; TOCHER, 2010). No entanto, a eficiência deste mecanismo de alongação e dessaturação pode também variar com a fase de vida, relação entre os ácidos graxos da dieta, entre outros (TURCHINI; NG; TOCHER, 2010), além da temperatura e salinidade. Portanto, as exigências nestes ácidos graxos estão relacionadas ao ambiente no qual a espécie evoluiu: quanto mais frio e mais salino, maior a exigência dietética em ácidos graxos com maior grau de insaturação, ou seja, maior a exigência em LC-PUFA n-3.

Tocher (2010) classificou as tilápias em espécies de água quente com exigência principalmente em LOA. Assim, sendo a tilápia-do-nilo uma espécie onívora tropical de água doce, assume-se que não seria afetada pela substituição da farinha e óleo de peixe, fontes de LC-PUFA, por óleos vegetais com ácidos graxos de cadeia média, principalmente LOA e LNA. Alguns trabalhos também indicam que a presença de precursores de ácidos graxos na dieta, tais como LOA e α -LNA, podem suprir às necessidades da espécie (CHEN et al., 2013; CORRÊA et al., 2017; NOBREGA et al., 2017), em temperatura ótima de crescimento. Na verdade, o estudo de Mufatto et al. (2018) demonstrou que a tilápia-do-nilo apresenta crescimento adequado quando sua dieta contém 1,3% PUFA, independentemente de ser LOA ou α -LNA, em temperatura ideal de crescimento (28°C). Entretanto, quando a temperatura baixa, no outono e inverno em regiões subtropicais, provavelmente a exigência em ácidos graxos essenciais se altera, considerando-se que a tilápia, como outros peixes, é uma espécie ectotérmica.

Chen et al. (2013) determinaram a exigência em α -LNA para tilápia-do-nilo como sendo 0,45 a 0,64% do peso vivo, quando criada em temperatura ótima (27,4 \pm 1,2 °C). Entretanto, quando mantida a 22 °C, esta exigência aumentou para 0,67% de α -LNA na dieta (NOBREGA et al., 2017). É importante salientar que, no estudo realizado em temperatura subótima (NOBREGA et al., 2017), o aumento de α -LNA dietético para 0,99% piorou o desempenho em crescimento de juvenis de tilápia-do-nilo. Portanto, o excesso de α -LNA também pode ser prejudicial ao desempenho, mesmo em condições subótimas de temperatura. Ainda neste estudo (NOBREGA et al., 2017), a adição de fontes de lipídios vegetais na dieta, contendo praticamente apenas PUFA com 18 carbonos, promoveu acúmulo de LC-PUFA

com 20 e 22 carbonos no músculo, provavelmente devido à bioconversão dos precursores de cadeia mais curta (NOBREGA et al., 2017). Desta forma, o entendimento sobre o metabolismo e a utilização dos ácidos graxos na dieta em condições de temperatura adversa, ainda é escasso, merecendo maior atenção da pesquisa.

1.3 DIGESTIBILIDADE DE ÁCIDOS GRAXOS EM TILÁPIA E A TEMPERATURA

Estudos sobre digestibilidade de ácidos graxos em condições de temperatura ótima para a tilápia-do-nylo são escassos e praticamente inexistentes em condições de temperatura subótima baixa. Entretanto, pelo exposto acima, pesquisas são necessárias para determinar sua digestibilidade para peixes, especialmente em diferentes temperaturas de produção.

Em estudo que testou a farinha de *Aurantiochytrium* como uma fonte de DHA para tilápia-do-nylo em temperatura subótima fria (NOBREGA et al., 2019), foi relatada a baixa digestibilidade (50,55%) dos SFA desta fonte lipídica, mas a alta digestibilidade dos demais n-6 PUFA (91,30%), n-3 PUFA (98,38%) e DHA (96,05%). Em estudo similar, mas realizado em temperatura ótima de crescimento (FERNANDES et al., 2019) também foi relatada menor digestibilidade do ácido graxo saturado palmítico (16:0) (70,81%) em relação ao DHA (96,10%).

O trabalho de Gonçalves e Cyrino (2014), realizado em temperatura ótima (28 °C), determinou os coeficientes de digestibilidade aparente de energia, lipídios e ácidos graxos de óleo de peixe, óleos vegetais (colza, popularmente chamado de canola, além do milho, linhaça e soja), óleo de peixe e gordura de aves para pacu (*Piaractus mesopotamicus*), peixe tropical de águas continentais. Os coeficientes de digestibilidade aparente para SFA foram menores do que para MUFA e PUFA, sendo que os óleos de milho, soja e linhaça se mostraram como fontes interessantes de ácidos graxos LOA e α -LNA para o pacu. Em trabalhos posteriores com juvenis de pacu, mantidos em temperatura de 26 °C e alimentados com dietas contendo óleos de soja e linhaça, 17% de gordura e diferentes relações α -LNA:LOA, esta tendência também foi confirmada com a obtenção de coeficientes de digestibilidade aparente superiores para as dietas contendo PUFA, independentemente da relação α -LNA:LOA (SEGURA et al., 2017).

Ng et al. (2003) conduziram um experimento com truta arco-íris (*Onchorhynchus mykiss*), um peixe continental mas de águas frias, para avaliar os efeitos da concentração de óleo de palma, rico em ácido palmítico (C16), em diferentes temperaturas. A redução da temperatura da água também reduziu a digestibilidade total dos SFA, independentemente do

nível de inclusão de óleo de palma. Entretanto, as digestibilidades totais dos MUFAs e PUFAs não foram significativamente afetadas pela temperatura da água, em peixes alimentados com até 10% de óleo de palma na dieta.

Todos os PUFAs, independente de ser da série n-3 ou n-6 ou da temperatura da água ser 28°C (FERNANDES et al., 2018) ou 22°C (NOBREGA et al., 2019), apresentaram alto coeficiente de digestibilidade (>90%) para a tilápia-do-nilo. PUFAs também apresentaram altas digestibilidades para o salmão do Atlântico, espécie marinha de águas frias, quando criado em temperatura ideal para crescimento (KOUSOULAKI et al., 2016).

O crescimento contínuo da aquicultura está se tornando dependente do desenvolvimento de alimentos mais sustentáveis, com ingredientes alternativos, geralmente derivados da agricultura terrestre (TOCHER, 2009). Já não podemos confiar nos recursos marinhos finitos e limitados para utilizar óleo de peixe na composição de dietas comerciais (TOCHER, 2015). Uma melhor compreensão do metabolismo biossintético dos LC-PUFA em peixes pode, conseqüentemente, trazer uma solução para a crise em torno da escassez de óleo de peixe (CHEN et al., 2018).

É importante o estudo da digestibilidade dos ácidos graxos em temperaturas subótimas para tilápia-do-nilo, já que foi anteriormente relatada diminuição na digestibilidade da proteína e lipídio quando a espécie é mantida em tais temperaturas (NOBREGA et al., 2019). Atualmente no Brasil, a tilápia-do-nilo é a principal espécie da aquicultura e, apesar de ser uma espécie de águas quentes, é principalmente criada na região Sul (PEIXE-BR, 2021), com clima subtropical, onde há grandes variações de temperatura entre o verão e o inverno. Portanto, acredita-se que a inclusão de fontes contendo PUFAs em formulações comerciais para tilápia mantida em temperaturas frias é extremamente importante, pois em geral, os SFA apresentam menor digestibilidade que os PUFA (TURCHINI et al., 2009). Um alto teor dietético de SFA pode afetar negativamente a digestibilidade dos MUFAs, proteínas e lipídios dietéticos, efeito que é acentuado em temperaturas frias (NOBREGA et al., 2019).

Os óleos vegetais como a linhaça (fonte de α -LNA) são considerados uma alternativa para substituição do óleo de peixe em rações aquícolas. Deste modo, avaliar a digestibilidade dos seus ácidos graxos é o primeiro passo para possibilitar seu uso na formulação e no processamento de dietas para a tilápia-do-nilo.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Determinar a melhor concentração de α -LNA para dietas de inverno para a tilápia-donilo.

1.4.2 Objetivos Específicos

- ✓ Quantificar a digestibilidade da proteína e do lipídio das dietas com níveis dietéticos de α -LNA para a tilápia, em temperatura de 22°C.
- ✓ Determinar a digestibilidade dos ácidos graxos das dietas com níveis dietéticos de α -LNA para a tilápia, em temperatura de 22°C.

2 ARTIGO CIENTÍFICO

Este artigo foi formatado de acordo com as normas do periódico *Aquaculture Nutrition*, ao qual será submetido para a publicação.

Digestibilidade da proteína, lipídio e ácidos graxos de dietas contendo diferentes níveis de α -linolênico para juvenis de tilápia-do-nilo, em temperatura subótima fria

Michele Cristina Vieira¹, Renata Oselame Nobrega¹, Bruna Mattioni², Débora Machado Fracalossi^{1*}

¹ Departamento de Aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, SC, Brasil.

² Carl and Melinda Helwig Department of Biological and Agricultural Engineering Kansas State University, Manhattan, KS, EUA.

* Autor Correspondente: Departamento de Aquicultura, Santa Catarina, Rodovia Admar Gonzaga, 1346. E-mail: debora.fracalossi@ufsc.br. Telefone: +55 48 3721 6300.

RESUMO

Os óleos vegetais, particularmente o de linhaça, por ser fonte de ácido linoleico (α -LNA, 18:3n-3), são considerados como alternativas para substituição ao óleo de peixe em rações aquícolas. Deste modo, avaliar a digestibilidade dos seus ácidos graxos bem como de outros nutrientes em dietas no qual o mesmo é suplementado, é o primeiro passo para possibilitar seu uso na formulação e elaboração de dietas para a tilápia-do-nilo. O objetivo deste estudo foi quantificar a digestibilidade da proteína, lipídio e ácidos graxos de dietas contendo níveis crescentes de óleo de linhaça, adicionados a uma mistura de óleos vegetais, gerando as seguintes concentrações de α -LNA: 0,03; 0,67 e 0,99% do peso seco da dieta. Os coeficientes de digestibilidade aparente dos ácidos graxos foram altos, mas afetados pela quantidade e fonte do óleo na mistura. De forma geral, percebeu-se que, em temperatura subótima fria, o aumento da suplementação dietética de α -LNA aumenta a digestibilidade dos nutrientes da dieta e de alguns ácidos graxos, principalmente aqueles com menor ponto de fusão. A suplementação com a maior concentração dietética de α -LNA testada, 0,99%, melhorou significativamente a digestibilidade da proteína, lipídio, MUFAs e PUFAs.

Palavras-chave: *Oreochromis niloticus*, α -LNA, óleos vegetais, tilápia-do-nilo, ácidos graxos.

2.1 INTRODUÇÃO

A criação de tilápia-do-nilo ocorre em áreas de clima tropical e subtropical em todo o mundo. Entretanto, informações sobre as exigências em ácidos graxos em temperaturas abaixo do ideal são escassas, mas vitais para a formulação de rações eficientes para esta importante espécie da aquicultura (NOBREGA et al., 2017).

Os ácidos graxos são constituídos de uma cadeia de hidrocarbonetos, sendo classificados em grupos químicos de acordo com o número de duplas ligações na cadeia de hidrocarbonetos. Os ácidos graxos que não possuem ligações insaturadas, denominados ácidos graxos saturados (SFA, do inglês *saturated fatty acids*), os com apenas uma ligação insaturada, chamados de monoinsaturados (MUFA, *monounsaturated fatty acids*) e aqueles com duas ou mais ligações insaturadas, referidos como ácidos graxos poli-insaturados (PUFA, *polyunsaturated fatty acids*) (GLENCROSS, 2009). Quando os PUFA possuírem 20 a 22 carbonos e 4 a 6 insaturações em sua cadeia, são classificados como LC-PUFA (*long-chain polyunsaturated fatty acids*) (GLENCROSS, 2009). Os PUFA também podem ser nomeados pela localização da primeira ligação dupla, contada a partir da extremidade da metil da cadeia, isto é, o carbono mais distante do grupo carboxila, dando origem assim, às séries n-3, n-6 e n-9 (NELSON, DAVID L.; COX, 2014).

De acordo com Tocher (2010), as tilápias foram classificadas em espécies de água quente com exigência principalmente em ácido linoleico (LOA). Assim, não seriam afetadas pela substituição da farinha ou óleo de peixe, fontes de LC-PUFA n-3, por óleos vegetais que, por sua vez, são fontes de ácidos graxos de cadeia média, principalmente da série n-6. Estudos realmente indicam que a presença de precursores de LC-PUFA na dieta, tais como LOA e ácido-alfa-linolênico (α -LNA), podem suprir às necessidades da tilápia-do-nilo (CHEN et al., 2013; CORRÊA et al., 2017; NOBREGA et al., 2017; MUFATTO et al., 2018).

O crescimento contínuo da aquicultura está se tornando dependente do desenvolvimento de alimentos sustentáveis com ingredientes alternativos, geralmente derivados da agricultura terrestre (TOCHER, 2015). Uma melhor compreensão do metabolismo biossintético dos LC-PUFA em peixes pode conseqüentemente trazer uma solução para a crise em torno da escassez de óleo de peixe (CHEN et al., 2018).

Corrêa et al. (2017) concluíram que, em temperatura adequada, tanto o óleo de peixe quanto o óleo vegetal de coco podem ser usados como fontes de ácidos graxos dietéticos para a tilápia-do-nilo; entretanto, em temperaturas abaixo do ideal, uma fonte dietética contendo mais PUFA e menos SFA melhora o desempenho. Outros estudos com tilápia-do-nilo, em

temperatura adequada, mostraram ainda uma diminuição na gordura corporal quando os peixes foram alimentados com dietas ricas em n-3 PUFA (CHEN et al., 2013; RIBEIRO et al., 2008).

A tilápia é conhecida por ser capaz de transformar parcialmente o LNA dietético, que pode ser encontrado em alguns óleos vegetais, em n-3 LC-PUFA (TOCHER et al., 2001). Chen et al. (2013) determinaram a exigência em α -LNA para tilápia-do-nilo como sendo 0,45 a 0,64% do peso vivo, quando criada em temperatura ótima ($27,4 \pm 1,2$ °C). Entretanto, quando mantida a 22 °C, esta exigência aumentou para 0,67% de α -LNA na dieta (NOBREGA et al., 2017). No entanto, neste mesmo estudo (NOBREGA et al., 2017), o aumento de α -LNA dietético até 0,99% piorou o desempenho em crescimento de juvenis de tilápia-do-nilo. A adição de fontes de lipídios vegetais na dieta, contendo praticamente apenas PUFA com 18 carbonos, promoveu acúmulo de LC-PUFA com 20 e 22 carbonos no músculo, provavelmente devido à bioconversão dos precursores de cadeia mais curta (NOBREGA et al., 2017). A tilápia apresentou aumento na eficiência alimentar com o aumento do α -LNA da dieta em até 0,67%, mas acima dessa inclusão houve perda na eficiência alimentar, sugerindo que o excesso desse ácido graxo prejudicou o metabolismo e a utilização da ração. Portanto, não só a presença, mas também a quantidade de α -LNA pode afetar o crescimento da tilápia.

Este trabalho tem por objetivo determinar a digestibilidade da proteína, do lipídio e dos ácidos graxos para a tilápia-do-nilo, quando alimentada com dietas contendo diferentes níveis de α -LNA e submetida a temperatura subótima de 22°C.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Dietas experimentais

O manejo dos peixes durante o experimento seguiu o protocolo n° PP00815, aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal de Santa Catarina (CEUA, UFSC). Para este estudo, foram utilizados dados de digestibilidade de ácidos graxos ainda não publicados, obtidos a partir do ensaio descrito por Nobrega et al. (2017), onde foram testados cinco níveis de inclusão de óleo de linhaça sobre uma mistura de óleos vegetais. No presente trabalho, os níveis de α -LNA de 0,03%; 0,67% e 0,99% foram selecionados para comparação da digestibilidade de ácidos graxos.

As dietas experimentais, contendo 5% de lipídio, eram isonitrogenadas, isoenergéticas e isolipídicas e foram elaboradas com ingredientes semi-purificados, atendendo às exigências nutricionais para juvenis de tilápia-do-nilo (NRC, 2011) (Tabela 1).

Tabela 1. Formulação e composição das dietas experimentais.

Ingredientes, % ¹	Ácido linolênico, %		
	0,03	0,67	0,99
Óleo de palmiste	0,92	0,19	-
Óleo de oliva	3,26	3,09	2,98
Óleo de girassol	0,82	0,32	0,16
Óleo de linhaça	-	1,4	1,86
Outros ²	95	95	95
Composição (% expressa na matéria seca)			
Matéria seca	93,74	92,47	92,35
Proteína bruta	36,76	36,78	36,39
Lipídios	5,62	5,42	5,41
Matéria mineral	3,26	3,88	3,38
Ácido linoleico (LOA, 18:2n-6)	0,54	0,49	0,47
Ácido linolênico (α -LNA, 18:3n-3)	0,03	0,67	0,99

¹Óleo de palmiste, Grupo Agropalma (Belém, PR, Brasil); óleo de oliva: distribuído por Cargill Agrícola S.A. (Brasil) e produzido por Victor Guedes, Ind. Com. S.A. (Abrantes, Portugal); óleos de girassol e linhaça: Vital Atman LTDA (Uchoa, SP, Brasil).

² Dieta basal: caseína (300 mg g⁻¹), gelatina (80 mg g⁻¹), amido de milho (400 mg g⁻¹), celulose (109,50 mg g⁻¹), carboximetilcelulose (10 mg g⁻¹), fosfato bicálcico (20 mg g⁻¹), premix macro mineral (20 mg . g⁻¹), premix vitamínico e mineral (10 mg g⁻¹) e butil-hidroxitolueno (BHT) (0,50 mg g⁻¹). Premix vitamínico e micromineral (Raguife Vaccinar, Belo Horizonte, MG, Brasil), composição kg⁻¹ de produto: ácido fólico 1.200 mg, ácido pantotênico 10.000 mg, BHT 5.000 mg, biotina 200 mg, cobalto 80 mg, cobre 3.500 mg, colina 100.000 mg, ferro 20.000 mg, iodo 160 mg, manganês 10.000 mg, niacina 20.000 mg, selênio 100 mg, vitamina (vit.) A 2.400.000 UI, vit. B₁ 4.000 mg, vit. B₁₂ 8.000 mg, vit. B₂ 4.500 mg, vit. B₆ 3.500 mg, vit. C 60.000 mg, vit. D₃ 600.000 UI, vit. E 30.000 UI, vit. K 3.000 mg, zinco 24.000 mg, inositol 25.000 mg. Premix macromineral (composição por kg): fosfato bicálcico 130 g, cloreto de potássio 120 g, cloreto de sódio 130 g, sulfato de magnésio 620 g.

Os óleos vegetais utilizados como base foram palmiste e óleo de oliva, com a finalidade de obter uma proporção similar de ácidos graxos saturados (SFA) e monoinsaturados (MUFA), entre as dietas experimentais. Também foi incluído óleo de girassol para suprir a exigência em 0,50% de LOA em todas as dietas (TAKEUCHI et al., 1983). Para obtenção de níveis crescentes de α -LNA, foi acrescentado óleo de linhaça, em substituição ao óleo de palmiste, resultando num aumento dos níveis de PUFA e numa queda dos níveis de SFA e MUFA (Tabela 2).

A dieta basal foi extrusada em péletes de 2 mm e seca em estufa com circulação forçada de ar, a 50°C, durante 4 h. Após a extrusão, a mistura de óleos foi aspergida sobre as dietas e impregnada com o auxílio de vácuo, para evitar perda de óleo para água. Em seguida, as dietas foram embaladas e conservadas em freezer (-20°C) até o fornecimento aos peixes.

Tabela 2. Perfil de ácidos graxos, em mg g⁻¹ de lipídio, das dietas experimentais.

Ácidos graxos	Ácido α -linolênico, %		
	0,03	0,67	0,99
10:00	5,02	1,16	ND ¹
12:00	68,82	13,24	0,51
14:00	26,74	6,01	1,93
16:00	91,92	79,20	66,68
18:00	8,29	22,84	40,12
24:00	0,90	0,76	0,73
16:1n-7	4,20	3,53	11,86
18:1n-9	601,34	514,20	481,85
18:1n-7	8,27	10,78	12,88
20:1n-9	2,10	1,85	1,98
18:2n-6	90,87	88,77	92,51
18:3n-6	3,19	2,78	2,81
18:3n-3	4,45	114,03	182,76
20:3n-6	2,11	1,56	1,56
Grupos de ácidos graxos			
Σ SFA ²	206,25	124,04	109,97
Σ MUFA	615,90	530,36	508,57
Σ PUFA n-3	4,45	114,03	182,76
Σ PUFA n-6	96,17	93,10	96,88
Σ LC-PUFA n-3	ND ¹	ND	ND
Σ LC-PUFA n-6	2,11	1,56	1,56
n-3 / n-6	0,05	1,22	1,89

¹ ND = não detectado (<0,05%), considerado como “zero”.

² Grupos de ácidos graxos, SFA= ácidos graxos saturados, MUFA= ácidos graxos monoinsaturados, PUFA= ácidos graxos poli-insaturados.

2.2.2 Ensaio de digestibilidade

O ensaio de digestibilidade foi conduzido para avaliar a utilização dos nutrientes pela tilápia-do-nilo em temperatura subótima fria de 22°C.

Juvenis de tilápia-do-nilo da linhagem GIFT, invertidos sexualmente para macho, foram adquiridos da piscicultura Acqua Sul (Ilhota, Santa Catarina, Brasil) e inicialmente estocados em tanques de 1000 L, durante 30 dias. Posteriormente, foram transferidos para as unidades experimentais, que consistiam em tanques cilíndrico-cônicos de 200 L, os quais estavam conectados a um sistema de recirculação de água. Cada unidade experimental foi estocada com 90 juvenis (peso médio 11,76 \pm 1,02 g) e recebeu aleatoriamente as dietas experimentais contendo 0,03%; 0,67% e 0,99% de α -LNA.

A aclimação dos peixes à baixa temperatura ocorreu nas três semanas subsequentes. Na primeira semana, a temperatura da água foi mantida em 28°C, mas foi diminuindo

gradualmente (1°C por dia) durante a segunda semana, até atingir a temperatura experimental alvo de 22°C, a qual foi mantida durante a terceira semana e até o final do período experimental.

O ensaio de digestibilidade baseou-se na metodologia descrita por Rodrigues et al. (2011). Foram realizadas três repetições de coletas de fezes, as quais foram realizadas no tempo, sendo que cada repetição foi executada durante duas semanas. Os tanques cilíndrico-cônicos eram equipados com tubos de 50 mL, no fundo, para coleta das fezes por decantação. Esses tubos foram imersos em recipientes isotérmicos com gelo para evitar a degradação microbiana. Os tubos e o gelo eram trocados a cada 2 h. Os tubos removidos eram centrifugados por 1 min a $1077 \times g$ e amostras de fezes armazenadas a -20°C. Avaliou-se a digestibilidade da proteína bruta, matéria seca, lipídios e ácidos graxos.

Os coeficientes de digestibilidade aparente dos ácidos graxos e da gordura total foram determinados de acordo com a metodologia descrita por Furukawa e Tsukahara (1996) (Equação 1), com incorporação de 1,00 mg de óxido de ítrio g^{-1} na dieta seca, como marcador inerte. As fezes e amostras de ração foram liofilizadas e, pelo método descrito a seguir (seção 3.2.3), foram realizadas as extrações de gordura das mesmas.

$$CDA = 100 [100 * (CrD/CrF) * (AGF/AGD)] \quad (\text{Equação 1})$$

CDA = coeficiente de digestibilidade do ácido graxo

CrD = porcentagem de óxido de ítrio na dieta

CrF = porcentagem de óxido de ítrio nas fezes

AGF = porcentagem de ácido graxo nas fezes

AGD = porcentagem de ácido graxo na dieta

O fotoperíodo foi ajustado para 12 h. Os parâmetros indicadores da qualidade de água foram monitorados diariamente, resultando nas seguintes médias (\pm desvio padrão): temperatura $22,06 \pm 0,09^\circ\text{C}$; oxigênio dissolvido $7,13 \pm 0,90 \text{ mg/L}$; saturação de oxigênio $81,05 \pm 10,01\%$; pH $7,00 \pm 0,35$; salinidade $0,90 \pm 0,04 \text{ g/L}$ de NaCl (sal refinado sem iodo). Amônia total, nitrito e nitrato foram monitorados uma vez por semana, não excedendo $0,29 \text{ mg/L}$. Os parâmetros indicadores da qualidade da água, com exceção da temperatura, permaneceram na faixa indicada para a criação de tilápia e não diferiram significativamente entre as unidades experimentais.

2.2.3 Análises químicas

As análises da composição centesimal das dietas, fezes e dos perfis de ácidos graxos foram realizadas no Laboratório de Nutrição de Espécies Aquícolas (LABNUTRI, UFSC). A análise de composição centesimal seguiu procedimentos padronizados pela "Association of Official Analytical Chemists" (AOAC, 1999): umidade (secagem a 105°C até peso constante, método 950.01), proteína bruta (Kjeldahl, método 945.01), lipídio total (Soxhlet, método 920.39C) e cinzas (incineração a 550°C, método 942.05).

As medições de ácidos graxos foram realizadas por cromatografia gasosa. Resumidamente, os lipídios das amostras foram extraídos a frio e quantificados pelo método de Folch et al. (1957), modificado por Ways e Hanahan (1964) e, posteriormente, modificado como descrito por Corrêa et al. (2018). Os ácidos graxos foram então esterificados usando o método de O'Fallon et al. (2007) e separados por um cromatógrafo gasoso (Agilent 7890B, Santa Clara, Califórnia, EUA) com um detector FID, usando uma coluna capilar CP-Sil 88 (60 m x 0,25 mm x 0,20 µm). As condições cromatográficas foram: temperatura do detector 300°C; temperatura do injetor 240°C; temperatura inicial da coluna 120°C por 10 min, programada para aumentar a uma taxa de 3°C min⁻¹ até 186 °C mantida por 5 min e depois aumentada novamente a 3°C min⁻¹ até a temperatura final de 231°C. O hélio era o gás de arraste, com um fluxo de coluna de 2,5 mL min⁻¹, split 1:40. Os ácidos graxos foram identificados com base no tempo de retenção de dois padrões, MIX 37 (37 Component FAME Mix e PUFA nº 3) e óleo menhaden (SUPELCO, Bellefont, Pensilvânia, EUA). As concentrações de ácidos graxos nas amostras foram calculadas de acordo com Joseph e Ackman (1992), utilizando como padrão interno C23:0 (ácido tricosanoico, Sigma, Saint Louis, Missouri, EUA).

2.2.4 Análise estatística

Todos os dados foram testados quanto à normalidade e homocedasticidade para atender aos requisitos da ANOVA, sendo expressos como médias e erro padrão das médias. Posteriormente, os coeficientes de digestibilidade aparente foram analisados via análise de variância (ANOVA *One Way*), seguida pelo teste de Tukey, quando necessário. O nível de significância de 5% foi adotado em todos os testes.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A suplementação de α -LNA interferiu no valor de CDA da proteína e do lipídio das dietas de tal forma que, quando os peixes foram alimentados com 0,99% de α -LNA, apresentaram maior digestibilidade destes nutrientes em comparação com aqueles alimentados com 0,03 ou 0,67% de α -LNA (Tabela 3). Porém, sua suplementação não interferiu na digestibilidade da matéria seca, sendo que o CDA ficou entre 75-76%, independentemente do nível de α -LNA testado.

Em geral, os coeficientes de digestibilidade aparente dos ácidos graxos foram altos, mas afetados pela quantidade e fonte do óleo, estando relacionados ao comprimento da cadeia carbônica e grau de insaturação, semelhante ao relatado em outros trabalhos (Ng et al., 2013; Gonçalves e Cyrino, 2014; Fernandes et al., 2019; Nobrega et al., 2019).

O CDA do somatório dos SFA na dieta com menor concentração de α -LNA foi superior ao encontrado na dieta contendo 0,99% de α -LNA. A digestibilidade do ácido palmítico (16:0), que está em maior quantidade em todas as dietas, não foi afetada significativamente pela suplementação de α -LNA. Já o CDA do ácido 18:0 foi influenciado positivamente pela suplementação de α -LNA; enquanto que o CDA dos ácidos 10:0, 12:0 e 14:0, foram influenciados negativamente. A quantidade dietética dos ácidos 10:0, 12:0 e 14:0 diminuiu com o aumento da suplementação de α -LNA, pois esses ácidos graxos são abundantes no óleo de palmiste, o qual foi reduzido com a suplementação do óleo de linhaça; contudo, houve um aumento dietético do ácido oleico (18:0). Dessa forma, a digestibilidade do grupo SFA foi afetada significativamente pela quantidade dos ácidos 10:0, 12:0 e 14:0 nas dietas: quanto maior a suplementação, maior a digestibilidade. Ng et al. (2003) verificaram que a diminuição da temperatura diminui a digestibilidade dos SFA, sendo menor a absorção dos triglicerídeos que contêm mais SFA.

As digestibilidades dos MUFA, especificamente o ácido palmitoleico (16:1 n-7) e o ácido oleico (OLA 18:1 n-9), foram afetadas positivamente com o aumento da concentração dietética de α -LNA, sendo o maior CDA observado nos peixes alimentados com 0,99% de α -LNA.

Todos os PUFA apresentaram alto CDA, variando de 92 a 100%, independente do nível de suplementação de α -LNA. Vale salientar que a suplementação dietética de óleo de linhaça como fonte de α -LNA melhorou a digestibilidade do mesmo, mas não influenciou a digestibilidade do LOA. Contudo, a suplementação dietética de 0,99% de α -LNA aumentou a digestibilidade do ácido graxo 18:3n-6, mas não influenciou significativamente a do ácido

graxo 20:3n-6. A posição da primeira ligação dupla ao longo da cadeia carbônica do ácido graxo parece ser importante na determinação da absorção do ácido graxo. Comumente, os ácidos graxos n-3 são absorvidos a uma taxa maior do que os ácidos graxos n-6 e os ácidos graxos n-9 (FRANCIS et al., 2007).

Tabela 3. Coeficiente de digestibilidade aparente (CDA) de nutrientes selecionados para juvenis de tilápia-do-nylo, quando alimentados com dietas contendo três níveis de ácido α -linolênico.

Nutriente	α -Linolênico (α -LNA), %			Valor de P ²
	0,03	0,67	0,99	
Matéria seca	75,19 ± 0,59	76,50 ± 0,29	76,22 ± 1,99	0,430
Proteína	93,22 ± 0,93 ^b	94,92 ± 0,33 ^{ab}	95,07 ± 0,90 ^a	0,046
Lipídio	92,3 ± 0,46 ^b	93,26 ± 0,25 ^b	95,36 ± 0,41 ^a	<0,001
10:0	74,06 ± 4,95 ^a	58,51 ± 1,39 ^b	ND ¹	0,007
12:0	79,98 ± 2,93 ^a	75,67 ± 3,06 ^a	57,18 ± 3,67 ^b	<0,001
14:0	83,79 ± 1,05 ^a	74,06 ± 0,71 ^{ab}	54,06 ± 4,93 ^b	0,004
16:0	91,34 ± 0,26	92,06 ± 1,33	91,38 ± 1,49	0,919
17:0	72,86 ± 2,47 ^b	84,26 ± 2,26 ^a	82,91 ± 1,83 ^a	0,002
18:0	88,69 ± 1,17 ^b	89,24 ± 1,67 ^b	92,54 ± 0,63 ^a	0,024
20:0	ND	100,00 ± 0,00	100,00 ± 0,00	1,000
24:0	94,17 ± 0,99	95,20 ± 0,06	95,08 ± 0,53	0,224
16:1n-7	76,22 ± 1,74 ^b	77,83 ± 0,32 ^b	92,81 ± 1,19 ^a	<0,001
18:1n-9	97,90 ± 0,15 ^b	98,37 ± 0,10 ^a	98,36 ± 0,17 ^a	0,004
18:1n-7	85,58 ± 0,47 ^c	91,00 ± 1,31 ^b	94,30 ± 0,96 ^a	<0,001
20:1n-9	87,06 ± 5,72 ^a	68,02 ± 3,47 ^b	68,93 ± 5,84 ^b	0,009
18:2n-6	97,60 ± 1,13	99,05 ± 0,58	99,16 ± 0,47	0,074
18:3n-6	97,44 ± 1,15 ^c	98,55 ± 0,02 ^b	100,00 ± 0,00 ^a	<0,001
18:3n-3	97,46 ± 0,21 ^b	100,00 ± 0,00 ^a	100,00 ± 0,00 ^a	<0,001
20:3n-6	95,20 ± 0,83 ^a	92,03 ± 0,12 ^b	93,42 ± 1,66 ^{ab}	0,024
Σ SFA ³	84,30 ± 1,29 ^a	83,41 ± 0,26 ^{ab}	81,88 ± 1,25 ^b	0,047
Σ MUFA	86,75 ± 1,06 ^b	83,98 ± 4,76 ^{ab}	88,52 ± 4,89 ^a	0,044
Σ PUFA	96,93 ± 0,37 ^b	97,41 ± 0,13 ^{ab}	98,14 ± 0,53 ^a	0,040
Σ PUFA n-6	96,75 ± 0,55	96,54 ± 0,18	97,52 ± 0,71	0,307
Σ PUFA n-3	97,46 ± 0,21 ^b	100,00 ± 0,00 ^a	100,00 ± 0,00 ^a	<0,001

¹ ND = não detectado (<0,05% do total dos ácidos graxos), considerado como "zero".

² Médias seguidas de letras diferentes, dentro da mesma linha, indicam diferença significativa (P<0,05).

³ Grupos de ácidos graxos, SFA= ácidos graxos saturados, MUFA= ácidos graxos monoinsaturados, PUFA= ácidos graxos poli-insaturados.

A composição de ácidos graxos de uma determinada fonte lipídica, especificamente o grau de insaturação e o comprimento da cadeia, é responsável pela determinação do seu ponto de fusão lipídico. Conseqüentemente, o ponto de fusão pode ser considerado como um bom indicador de digestibilidade em peixes, o que foi proposto por Turchini et al. (2009) e confirmado no presente estudo (TURCHINI; TORSTENSEN; NG, 2009).

Por causa da escassez de relatos sobre digestibilidade da proteína, lipídios, energia e, principalmente, de ácidos graxos para a tilápia-do-nylo, quando criada em temperatura subótima fria, é seguro afirmar que mais pesquisas são necessárias para aprimorar a eficiência das dietas de inverno para esta espécie, quando produzida em regiões subtropicais.

4 CONCLUSÃO

A suplementação dietética de 0,99% de α -LNA melhorou a digestibilidade da proteína, lipídio, MUFA e PUFAs. Em geral, os coeficientes de digestibilidade aparente dos ácidos graxos foram altos, mas afetados pela quantidade e fonte de óleo. De forma geral, em temperatura subótima fria, o aumento na suplementação dietética de α -LNA aumenta a digestibilidade dos nutrientes da dieta e de alguns ácidos graxos, principalmente aqueles com menor ponto de fusão.

REFERÊNCIAS

- AZAZA, M. S.; DHRAÏEF, M. N.; KRAÏEM, M. M. Effects of water temperature on growth and sex ratio of juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus) reared in geothermal waters in southern Tunisia. **Journal of Thermal Biology**, v. 33, n. 2, p. 98–105, fev. 2008.
- CHEN, C. et al. N-3 essential fatty acids in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*: Quantification of optimum requirement of dietary linolenic acid in juvenile fish. **Aquaculture**, v. 416–417, p. 99–104, dez. 2013.
- CHEN, C. et al. n-3 essential fatty acids in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*: Bioconverting LNA to DHA is relatively efficient and the LC-PUFA biosynthetic pathway is substrate limited in juvenile fish. **Aquaculture**, v. 495, n. June, p. 513–522, 2018.
- CORRÊA, C. F. et al. Dietary lipid sources affect the performance of Nile tilapia at optimal and cold, suboptimal temperatures. **Aquaculture Nutrition**, v. 23, n. 5, p. 1016–1026, out. 2017.
- FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. In brief.** [s.l.] FAO, 2020. v. 50
- FERNANDES, V. A. G. et al. *Aurantiochytrium* sp. meal as DHA source in Nile tilapia diet, part I: Growth performance and body composition. **Aquaculture Research**, v. 50, n. 2, p. 390–399, 28 fev. 2019.
- FRANCIS, D. S. et al. Effects of fish oil substitution with a mix blend vegetable oil on nutrient digestibility in Murray cod, *Maccullochella peelii peelii*. **Aquaculture**, v. 269, n. 1–4, p. 447–455, set. 2007.
- GLENCROSS, B. D. Exploring the nutritional demand for essential fatty acids by aquaculture species. **Reviews in Aquaculture**, v. 1, n. 2, p. 71–124, jun. 2009.
- GONÇALVES, L. U.; CYRINO, J. E. P. Digestibility of energy, lipids and fatty acids of vegetable oils and poultry fat by pacu *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg 1887). **Aquaculture Nutrition**, v. 20, n. 6, p. 567–573, 2014.
- HSIEH, S.-L. et al. Influence of dietary lipids on the fatty acid composition and stearyl-CoA desaturase expression in hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) under cold shock. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology**, v. 147, n. 3, p. 438–444, jul. 2007.
- KOUSOULAKI, K. et al. Microalgae and organic minerals enhance lipid retention efficiency and fillet quality in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). **Aquaculture**, v. 451, p. 47–57, jan. 2016.
- MUFATTO, L. M. et al. Dietary ratios of n-3/n-6 fatty acids do not affect growth of Nile tilapia at optimal temperatures (28°C) nor at temperatures that simulate the onset of winter (22°C). **Aquaculture Nutrition**, v. 25, n. 3, p. 646–661, 30 jun. 2019.
- NELSON, DAVID L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. 6. ed. Porto Alegre: [s.n.].

- NG, W.-K. et al. Interactive effects of dietary palm oil concentration and water temperature on lipid digestibility in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. **Lipids**, v. 38, n. 10, p. 1031–1038, out. 2003.
- NOBREGA, R. O. et al. Dietary α -linolenic for juvenile Nile tilapia at cold suboptimal temperature. **Aquaculture**, v. 471, p. 66–71, 2017.
- NOBREGA, R. O. et al. Dietary supplementation of *Aurantiochytrium* sp. meal, a docosahexaenoic-acid source, promotes growth of Nile tilapia at a suboptimal low temperature. **Aquaculture**, v. 507, n. February, p. 500–509, maio 2019.
- NRC. **Nutrient Requirements of Fish and Shrimp**. Washington, D.C: [s.n.].
- PEIXE BR. ANUÁRIO 2021. **Anuario 2021 da Piscicultura**, p. 1–140, 2021.
- POPMA, T. J.; LOVSHIN, L. L. **Worldwide Prospects for Commercial Production of Tilapia** International Center for Aquaculture and Aquatic Environments. [s.l: s.n.].
- RIBEIRO, P. A. P. et al. Efeito do uso de óleo na dieta sobre a lipogênese e o perfil lipídico de tilápias-do-nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 8, p. 1331–1337, 2008.
- SCHULTER, E. P.; FILHO, J. E. R. V. Evolução Da Piscicultura No Brasil: Diagnóstico E Desenvolvimento Da Cadeia Produtiva De Tilápia. **Instituto de pesquisa Econômica Aplicada - Ipea**, p. 42, 2017.
- SCRIMGEOUR, C. et al. Chemistry of Fatty Acids. In: **Bailey's Industrial Oil and Fat Products**. 6. ed. [s.l.] Wiley, 2005. p. 1–40.
- SEGURA, J. G. et al. Relação 18:3n3/18:2n6 sobre a digestibilidade de ácidos graxos em pacu. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 43, n. 2, p. 222–230, 15 jun. 2017.
- SHI, G.-C. et al. Physiological responses and HSP70 mRNA expression of GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) under cold stress. **Aquaculture Research**, v. 46, n. 3, p. 658–668, mar. 2015.
- TOCHER, D. Issues surrounding fish as a source of omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids. **Lipid Technology**, v. 21, n. 1, p. 13–16, jan. 2009.
- TOCHER, D. R. et al. Nutritional regulation of hepatocyte fatty acid desaturation and polyunsaturated fatty acid composition in zebrafish (*Danio rerio*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 24, n. 4, p. 309–320, 2001.
- TOCHER, D. R. Fatty acid requirements in ontogeny of marine and freshwater fish. **Aquaculture Research**, v. 41, n. 5, p. 717–732, abr. 2010.
- TOCHER, D. R. Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids and aquaculture in perspective. **Aquaculture**, v. 449, p. 94–107, 2015.
- TURCHINI, G. M.; NG, W.-K.; TOCHER, D. R. **Fish Oil Replacement and Alternative Lipid Sources in Aquaculture Feeds**. [s.l.] CRC Press, 2010. v. 39

TURCHINI, G. M.; TORSTENSEN, B. E.; NG, W.-K. Fish oil replacement in finfish nutrition. **Reviews in Aquaculture**, v. 1, n. 1, p. 10–57, mar. 2009.

WEBER T. E., BOSWORTH B. G.: Effects of 28 day exposure to cold temperature or feed restriction on growth, body composition, and expression of genes related to muscle growth and metabolism in channel catfish. **Aquaculture**. v. 246. p. 483-492, 2005.