

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

LISINA PARA TILÁPIA DO NILO: efeito de duas estratégias de formulação e respostas de duas gerações de um programa de melhoramento genético

Gabriel Francisco de Oliveira Alves

Belo Horizonte

2020

Gabriel Francisco de Oliveira Alves

LISINA PARA TILÁPIA DO NILO: efeito de duas estratégias de formulação e respostas de duas gerações de um programa de melhoramento genético

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito para obtenção do grau de Doutor em Zootecnia.

Área de concentração: Nutrição e Alimentação Animal
Prof. Orientador: Prof. Dr. Edgar de Alencar Teixeira
Co-orientadores: Prof. Dr. Eduardo Maldonado Turra
Dr. Francisco Carlos de Oliveira Silva

Belo Horizonte

2020

A4741

Alves, Gabriel Francisco de Oliveira - 1987.

Lisina para Tilápia do Nilo: Efeito de duas estratégias de formulação e respostas de duas gerações de um programa de melhoramento genético/Gabriel Francisco de Oliveira Alves – 2020.

86p.: il.

Orientador: Edgar de Alencar Teixeira

Coorientadores: Eduardo Maldonado Turra

Francisco Carlos de Oliveira Silva

Tese de Doutorado apresentado a Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais.

1- Tilápia - Peixes - Teses - 2 – Alimentação - Teses – 3- Produção animal - Teses

I - Teixeira, Edgar de Alencar – II – Turra, Eduardo Maldonado – III- Silva, Francisco Carlos de Oliveira

IV – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária - V – Título.

CDD – 636.085

Bibliotecária responsável Cristiane Patrícia Gomes – CRB2569

ATA DE DEFESA DE TESE DE GABRIEL FRANCISCO DE OLIVEIRA ALVES

As 08:00 horas do dia 17 de abril de 2020, reuniu-se, na Escola de Veterinária da UFMG a Comissão Examinadora de Tese, indicada pelo Colegiado em reunião no dia 11/11/2019, para julgar, em exame final, a defesa da tese intitulada: LISINA PARA TILÁPIA DO NILO: EFEITO DE DUAS ESTRATÉGIAS DE FORMULAÇÃO E RESPOSTAS DE DUAS GERAÇÕES DE UM PROGRAMA DE MELHORAMENTO GENÉTICO, como requisito final para a obtenção do Grau de Doutor em Zootecnia área de concentração Nutrição Animal.

Abrindo a sessão, o Presidente da Comissão, Prof. Edgar de Alencar Teixeira, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares da Defesa de Tese, passou a palavra ao (a) candidato (a), para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa do candidato (a). Logo após, a Comissão se reuniu, sem a presença do candidato e do público, para julgamento da tese, tendo sido atribuídas as seguintes indicações:

	Aprovada	Reprovada
Prof.(a)/Dr.(a) Edgar de Alencar Teixeira	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prof.(a)/Dr.(a) Érika Ramos de Alvarenga	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prof.(a)/Dr.(a) Leonardo José Camargos Lara	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prof.(a)/Dr.(a) Carlos Henrique de Figueiredo Vasconcelos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prof.(a)/Dr.(a) Thiago Bernardes Fernandes Jorge	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Pelas indicações, o (a) candidato (a) foi considerado (a):



Aprovado (a)



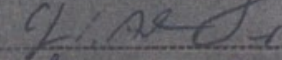
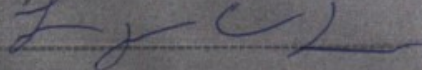
Reprovado (a)

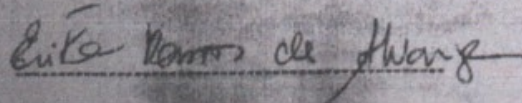
Para concluir o Doutorado, o(a) candidato(a) deverá entregar 3 volumes encadernados da versão final da tese acatando, se houver, as modificações sugeridas pela banca, e a comprovação de submissão de pelo menos um artigo científico em periódico recomendado pelo Colegiado dos Cursos. Para tanto terá o prazo máximo de 60 dias a contar da data defesa.

O resultado final, foi comunicado publicamente ao (a) candidato (a) pelo Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, o Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ata, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora e encaminhada juntamente com um exemplar da tese apresentada para defesa.

Belo Horizonte, 17 de abril de 2020.

Assinatura dos membros da banca:



(Vide Normas Regulamentares da defesa de Tese no verso)

(Este documento não terá validade sem assinatura e carimbo do Coordenador)



ESCOLA DE VETERINÁRIA DA UFMG
COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA
Av. Antônio Carlos 6627 - CP 567 - CEP 30123-970 - Belo Horizonte- MG
TELEFONE (31)-3409-2173

www.vet.ufmg.br/academicos/pos-graduacao

E-mail cpgzootec@vet.ufmg.br

ATA DE DEFESA DE TESE DE GABRIEL FRANCISCO DE OLIVEIRA ALVES

Às 08:00 horas do dia 17 de abril de 2020, reuniu-se, na Escola de Veterinária da UFMG a Comissão Examinadora de Tese, indicada pelo Colegiado em reunião no dia 11/11/2019, para julgar, em exame final, a defesa da tese intitulada: LISINA PARA TILÁPIA DO NILO: EFEITO DE DUAS ESTRATÉGIAS DE FORMULAÇÃO E RESPOSTAS DE DUAS GERAÇÕES DE UM PROGRAMA DE MELHORAMENTO GENÉTICO, como requisito final para a obtenção do Grau de **Doutor em Zootecnia área de concentração Nutrição Animal**.

Abrindo a sessão, o Presidente da Comissão, Prof. Edgar de Alencar Teixeira, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares da Defesa de Tese, passou a palavra ao (a) candidato (a), para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa do candidato (a). Logo após, a Comissão se reuniu, sem a presença do candidato e do público, para julgamento da tese, tendo sido atribuídas as seguintes indicações:

	Aprovada	Reprovada
Prof.(a)/Dr.(a) Edgar de Alencar Teixeira	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prof.(a)/Dr.(a) Érika Ramos de Alvarenga	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prof.(a)/Dr.(a) Leonardo José Camargos Lara	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prof.(a)/Dr.(a) Carlos Henrique de Figueiredo Vasconcellos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prof.(a)/Dr.(a) Thiago Bernardes Fernandes Jorge	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Pelas indicações, o (a) candidato (a) foi considerado (a): Aprovado (a)
 Reprovado (a)

Para concluir o Doutorado, o(a) candidato(a) deverá entregar 3 volumes encadernados da versão final da tese acatando, se houver, as modificações sugeridas pela banca, e a comprovação de submissão de pelo menos um artigo científico em periódico recomendado pelo Colegiado dos Cursos. Para tanto terá o prazo máximo de 60 dias a contar da data defesa.

O resultado final, foi comunicado publicamente ao (a) candidato (a) pelo Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, o Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ata, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora e encaminhada juntamente com um exemplar da tese apresentada para defesa.

Belo Horizonte, 17 de abril de 2020.

Assinatura dos membros da banca:

Carlos H.F. Vasconcellos



Escola de Veterinária
UFMG

ESCOLA DE VETERINÁRIA DA UFMG
COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA
Av. Antônio Carlos 6627 - CP 567 - CEP 30123-970 - Belo Horizonte- MG
TELEFONE (31)-3409-2173

www.vet.ufmg.br/academicos/pos-graduacao

E-mail cpgzootec@vet.ufmg.br

ATA DE DEFESA DE TESE DE GABRIEL FRANCISCO DE OLIVEIRA ALVES

Às 08:00 horas do dia 17 de abril de 2020, reuniu-se, na Escola de Veterinária da UFMG a Comissão Examinadora de Tese, indicada pelo Colegiado em reunião no dia 11/11/2019, para julgar, em exame final, a defesa da tese intitulada: LISINA PARA TILÁPIA DO NILO: EFEITO DE DUAS ESTRATÉGIAS DE FORMULAÇÃO E RESPOSTAS DE DUAS GERAÇÕES DE UM PROGRAMA DE MELHORAMENTO GENÉTICO, como requisito final para a obtenção do Grau de **Doutor em Zootecnia área de concentração Nutrição Animal**.

Abrindo a sessão, o Presidente da Comissão, Prof. Edgar de Alencar Teixeira, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares da Defesa de Tese, passou a palavra ao (a) candidato (a), para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa do candidato (a). Logo após, a Comissão se reuniu, sem a presença do candidato e do público, para julgamento da tese, tendo sido atribuídas as seguintes indicações:

	Aprovada	Reprovada
Prof.(a)/Dr.(a) Edgar de Alencar Teixeira	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prof.(a)/Dr.(a) Érika Ramos de Alvarenga	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prof.(a)/Dr.(a) Leonardo José Camargos Lara	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prof.(a)/Dr.(a) Carlos Henrique de Figueiredo Vasconcellos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prof.(a)/Dr.(a) Thiago Bernardes Fernandes Jorge	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Pelas indicações, o (a) candidato (a) foi considerado (a): Aprovado (a)

Reprovado (a)

Para concluir o Doutorado, o(a) candidato(a) deverá entregar 3 volumes encadernados da versão final da tese acatando, se houver, as modificações sugeridas pela banca, e a comprovação de submissão de pelo menos um artigo científico em periódico recomendado pelo Colegiado dos Cursos. Para tanto terá o prazo máximo de 60 dias a contar da data defesa.

O resultado final, foi comunicado publicamente ao (a) candidato (a) pelo Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, o Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ata, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora e encaminhada juntamente com um exemplar da tese apresentada para defesa.

Belo Horizonte, 17 de abril de 2020.

Assinatura dos membros da banca:

Thiago B.F. Jorge

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, irmãs, esposa,
filha, familiares e amigos.

Com todo carinho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, pelas oportunidades e por sua presença em todos os momentos, iluminando e guiando os meus passos.

Aos meus pais, Francisco e Vanda, pelo exemplo e apoio a cada passo dado.

À minha esposa, Polliana, pelo carinho, amor, companheirismo e pela paciência em diversos momentos de ausência.

À minha filha, Clarice, que recentemente chegou e a cada dia me contagia mais e mais.

Às minhas irmãs, Layla e Ana, pelo carinho e pela boa convivência.

À Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais (EV-UFMG) e ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia pela oportunidade concedida para realização do doutorado.

Ao Prof. Edgar de Alencar Teixeira pela orientação, amizade, paciência e incentivo.

Ao Prof. Eduardo Maldonado Turra pela coorientação, disponibilização dos animais utilizados e amizade.

À Dra. Érika Ramos de Alvarenga pela amizade, paciência, convivência, ajuda em diversos momentos e pelas longas conversas que acabaram contribuindo muito para o meu amadurecimento e minha formação profissional, além da participação na banca examinadora.

Aos professores Leonardo José Camargos Lara, Carlos Henrique de Figueiredo Vasconcellos e Thiago Bernardes Fernandes Jorge por participarem da banca examinadora.

Aos integrantes do Grupo de Estudos NGTAqua pela ajuda, diversos momentos compartilhados e pela paciência em várias ocasiões.

Aos colegas técnicos e docentes da EV-UFMG, pelo convívio e apoio de alguns.

À FAPEMIG, pelo apoio financeiro, vinculado ao processo FAPEMIG APQ - 03788-16.

Aos colegas do Laboratório de Aquacultura (LAQUA) e aqueles que já passaram por lá, amigos, familiares e demais pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigado!

RESUMO

Objetivou-se avaliar o efeito de duas estratégias de formulação em estudos de determinação das necessidades de lisina e também as respostas de peixes com potencial de crescimento diferente, frente a níveis crescentes de lisina. No Experimento I, foi avaliada a resposta de juvenis de tilápia do Nilo de 20,0 a 160,0 g recebendo dietas com níveis crescentes de lisina (1,50; 1,74; 1,98; 2,22; 2,46 e 2,70%) e formuladas com o uso da técnica da suplementação de aminoácidos (SUP) e técnica da suplementação de aminoácidos com o uso do conceito da proteína ideal (SPI). No Experimento II, foram avaliadas as respostas de crescimento e sobrevivência de pós-larvas de tilápia do Nilo de duas gerações de um programa de melhoramento genético, sendo uma de crescimento rápido (G5) e outra de crescimento lento (G0), recebendo dietas com diferentes níveis de lisina (1,43; 1,80; 2,02; 2,42 e 2,68%). As dietas foram fornecidas cinco e nove vezes ao dia, nos experimentos I e II, respectivamente. Ambos os trabalhos foram realizados em sistema de recirculação de água. No Experimento I, não foram observadas diferenças para o peso médio final, ganho de peso diário, conversão alimentar e eficiência de retenção de proteínas em função dos níveis de lisina e nem das estratégias de formulação ($P > 0,05$). O consumo de ração (CR) foi afetado pelos níveis de lisina. Contudo o CR não apresentou uma tendência clara em relação aos níveis de lisina na dieta. Já o consumo de lisina por quilo de ganho de peso metabólico (CLM) diferiu quanto aos níveis de lisina e técnica de formulação, havendo menor CLM para os peixes que receberam as dietas formuladas com o uso da SPI. A composição corporal não foi afetada ($P > 0,05$). No Experimento II, a sobrevivência não diferiu entre G0 e G5 ($P > 0,05$). De maneira geral, os peixes da G5 apresentaram melhores respostas de crescimento em relação à G0 e foi identificada a interação Lisina X Geração apenas para o consumo de ração, tendo sido verificado comportamento linear para a G0 e quadrático para a G5. Com base no peso médio aos 28 e aos 56 dias de idade, os modelos de regressão quadráticos indicaram 2,4374 e 2,6773% como níveis adequados de lisina na dieta, respectivamente, para as pós-larvas de ambas as gerações.

Palavras-chave: *Oreochromis niloticus*, ganho de peso, aminoácidos, respostas de crescimento

ABSTRACT

The objective was to evaluate the effect of two formulation strategies in studies to determine lysine requirements and also the responses of fish with different growth potential in relation to increasing levels of lysine. In Experiment I, the response of Nile tilapia juveniles from 20.0 to 160.0 g was evaluated on diets with increasing levels of lysine (1.50; 1.74; 1.98; 2.22; 2.46 and 2.70%) and formulated using the amino acid supplementation technique (SUP) and amino acid supplementation technique using the ideal protein concept (SPI). In Experiment II, the growth and survival responses of Nile tilapia post-larvae from two generations of a breeding program were evaluated, one of which was fast-growing (G5) and the other of slow-growing (G0), receiving diets with different levels of lysine (1.43; 1.80; 2.02; 2.42 and 2.68%). The diets were provided five and nine times a day, in experiments I and II, respectively. Both works were carried out in a water recirculation system. In Experiment I, no differences were observed for the final average weight, daily weight gain, feed conversion and protein retention efficiency as a function of lysine levels or formulation strategies ($P > 0.05$). Feed intake (CR) was affected by lysine levels, according to the Kruskal-Wallis test ($P < 0.05$). However, the CR did not show a clear trend in relation to lysine levels in the diet. The consumption of lysine per kilogram of metabolic weight gain (CLM) differed in terms of lysine levels and formulation technique, with less CLM for fish that received diets formulated using SPI. Body composition, on the other hand, showed no changes ($P > 0.05$). In Experiment II, survival did not differ between G0 and G5 ($P > 0.05$). In general, G5 fish showed better growth responses in relation to G0 and the interaction Lysine X Generation was identified only for feed consumption, with linear behavior for G0 and quadratic for G5. Based on the average weight at 28 and 56 days of age, the quadratic regression models indicated 2.4374 and 2.6773% of lysine in the diet, respectively, for the post-larvae of both generations.

Key-words: *Oreochromis niloticus*, weight gain, amino acids, growth responses

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1. Fórmula estrutural da lisina. A porção não sombreada é aquela comum a todos os aminoácidos; a sombreada é o grupo R19

Figura 2. Resumo do catabolismo dos aminoácidos essenciais e não essenciais, agrupados conforme seu principal produto final de degradação e categorizados em glicogênicos e cetogênicos20

CAPÍTULO 2

Figura 1. Consumo de lisina por quilo de ganho de peso metabólico (CLM, $\text{mg kg}^{-0,7}$) em função de distintos níveis de lisina nas dietas formuladas por duas técnicas de formulação para juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)45

CAPÍTULO 3

Figura 1. Peso médio aos 28 dias de idade (PM 28) de alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) de dois grupos genéticos alimentados com dietas com distintos níveis de lisina70

Figura 2. Peso médio aos 56 dias de idade (PM 56) de juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) de dois grupos genéticos alimentados com dietas com distintos níveis de lisina72

Figura 3. Conversão Alimentar Aparente (CAA) de juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) de dois grupos genéticos alimentados com dietas com distintos níveis de lisina de 1 a 56 dias de idade73

Figura 4. Consumo de ração (CR) de juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) de dois grupos genéticos alimentados com dietas com distintos níveis de lisina de 1 a 56 dias de idade. Lys: nível de lisina na dieta; Lis_e (%): nível de lisina estimado73

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1. Exigências nutricionais para a tilápia de acordo com o NRC (1993, 2011) e Furuya (2010)	22
--	----

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Parâmetros de qualidade de água durante cultivo de juvenis de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) recebendo dietas com distintos níveis de lisina e formuladas por duas estratégias diferentes	33
Tabela 2. Formulação e composição química das dietas com distintos níveis de lisina formuladas pela técnica da suplementação de aminoácidos para juvenis de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	35
Tabela 3. Formulação e composição química das dietas com distintos níveis de lisina formuladas pela técnica da suplementação de aminoácidos com o uso do conceito da proteína ideal para juvenis de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	36
Tabela 4. Teores de aminoácidos totais de dietas com diferentes níveis de lisina e formuladas pela Técnica da suplementação de aminoácidos e Técnica da suplementação de aminoácidos com o uso do conceito da proteína ideal para juvenis de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	37
Tabela 5. Relação aminoácido:lisina (%) de dietas com diferentes níveis de lisina e formuladas pela Técnica da suplementação de aminoácidos e Técnica da suplementação de aminoácidos com o uso do conceito da proteína ideal para juvenis de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	38
Tabela 6. Peso médio inicial (PMI), peso médio final (PMF), ganho de peso diário (GPD), conversão alimentar (CA), consumo de ração (CR), consumo de lisina por quilo de ganho de peso metabólico (CLM), consumo diário de lisina por peixe (CLD), eficiência de retenção de proteína (ERP) e sobrevivência (SOB) de juvenis de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) recebendo dietas com distintos níveis de lisina e formuladas por duas diferentes estratégias	42
Tabela 7. Composição corporal (umidade, proteína bruta, extrato etéreo e cinzas, em g kg ⁻¹) de juvenis de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) recebendo dietas com distintos níveis de lisina e formuladas com duas estratégias diferentes	44

CAPÍTULO 3

- Tabela 1.** Formulação e composição química das dietas com níveis crescentes de lisina para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) de duas gerações distintas62
- Tabela 2.** Teores de aminoácidos totais das dietas com diferentes níveis de lisina para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) de duas gerações distintas63
- Tabela 3.** Peso médio inicial (PMI), peso médio aos 28 dias de idade (PM 28), ganho de peso médio de 1 a 28 dias de idade (GPM 1-28), taxa de crescimento específico de 1 a 28 dias de idade (TCE 1-28), sobrevivência aos 28 dias de idade (SOB 28), peso médio aos 56 dias de idade (PM 56), ganho de peso médio dos 29 aos 56 dias de idade (GPM 29-56), lisina fornecida por ganho de peso vivo (Lys Ganho-1), taxa de crescimento específico de 1 a 56 dias de idade (TCE Geral), consumo de ração (CR), conversão alimentar aparente (CAA) e sobrevivência de 1 a 56 dias (SOB Geral) de tilápia do Nilo de dois grupos genéticos alimentados com dietas com distintos níveis de lisina67
- Tabela 4.** Equações ajustadas para peso médio aos 28 dias de idade (PM 28), ganho de peso médio de 1 a 28 dias de idade (GPM 1-28), taxa de crescimento específico de 1 a 28 dias de idade (TCE 1-28), peso médio aos 56 dias de idade (PM 56), ganho de peso médio dos 29 aos 56 dias de idade (GPM 29-56), lisina fornecida por ganho de peso vivo (Lys Ganho⁻¹), taxa de crescimento específico de 1 a 56 dias de idade (TCE Geral), consumo de ração (CR), conversão alimentar aparente (CAA) e níveis de lisina estimados (Lis_e) para tilápia do Nilo de dois grupos genéticos de 1 a 56 dias de idade71

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

BHT - Hidroxitolueno butilado

CaCO₃ – Carbonato de cálcio

CEUA – Comissão de Ética no Uso de Animais

EV – Escola de Veterinária

G0 – Geração base

G5 – Geração cinco

Ger - Geração

GIFT - Genetic Improvement of Farmed Tilapia

GST - GenoMar Supreme Tilápia

ICLARM - International Center for Living Aquatic Resources Management

LAQUA – Laboratório de Aquacultura

Lys – Lisina

MJ - Megajoule

N-AT – Nitrogênio amoniacal total

N-NO₂⁻ - Nitrogênio nítrico

NGTAqua – Grupo de Estudos em Nutrição, Genética e Tecnologias aplicadas a Aquacultura

UEM - Universidade Estadual de Maringá

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - Considerações iniciais.....	13
1. Introdução Geral	14
1.1 Objetivos	15
2. Revisão de literatura	16
2.1 Tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	16
2.1.1 Melhoramento genético em tilápias do Nilo	17
2.2 Aminoácidos na nutrição de peixes	18
2.3 Formulação de dietas para determinação das exigências nutricionais	22
3. Referências bibliográficas	23
CAPÍTULO 2 - Efeito de duas técnicas de formulação das dietas em estudos de exigências de lisina para tilápia do Nilo de 20 a 160 gramas	27
Resumo	29
1. Introdução	30
2. Materiais e métodos	31
2.1 Local de realização.....	31
2.2 Delineamento experimental e animais utilizados	32
2.3 Instalações e manejo	32
2.4 Técnicas de formulação e dietas experimentais	33
2.4.1 Técnica da suplementação gradativa dos aminoácidos	34
2.4.2 Técnica da suplementação gradativa dos aminoácidos com uso do conceito da proteína ideal	35
2.5 Avaliação de desempenho e composição corporal	38
2.6 Análises estatísticas	39
3. Resultados	40
4. Discussão	45
Agradecimentos	48
Referências bibliográficas	48
CAPÍTULO 3 - Respostas ao uso de dietas com níveis de lisina na produção de tilápia do Nilo com diferentes taxas de crescimento de 1 a 56 dias de idade.....	55
Resumo	57
1. Introdução	58
2. Materiais e métodos	59
2.1 Local de realização.....	59

2.2 Animais e delineamento experimental.....	60
2.3 Dietas	60
2.4 Instalações e Manejo	63
2.4.1 Etapa I – de um a 28 dias de idade	63
2.4.2 Etapa II- 29 a 56 dias de idade	64
2.5 Avaliação de desempenho	65
2.6 Análises estatísticas	66
3. Resultados	66
4. Discussão	74
Agradecimentos	78
Referências bibliográficas.....	78
CAPÍTULO 4 - Considerações Finais	85
1. Considerações Finais	86

- CAPÍTULO 1 -

Considerações Iniciais

1. INTRODUÇÃO GERAL

As estimativas das exigências nutricionais de peixes são de fundamental importância no contexto da piscicultura comercial. A quantidade e a qualidade da proteína nas dietas formuladas, mais especificamente o balanceamento de aminoácidos, pode promover a maximização do desempenho, a redução da excreção de nitrogênio e a resposta imune dos peixes contra doenças, proporcionando benefícios econômicos e ambientais para a aquicultura. (Boisen et al., 2000; Wilson, 2003).

Diversos estudos têm sido realizados com o objetivo de determinar as exigências de lisina para tilápias do Nilo, porém variações significativas entre as estimativas das exigências são observadas. Uma parcela das variações é atribuída às diferenças entre espécies, mas parte das variações ocorre para uma mesma espécie em uma mesma fase de desenvolvimento. Estas últimas são atribuídas à genética, idade, desenho do ensaio, às condições experimentais e as ferramentas matemáticas utilizadas para estimar as exigências, que podem levar a efeitos significativos sobre as necessidades de aminoácidos (Bureau e Encarnação, 2006).

Tradicionalmente utiliza-se o método dose-resposta para determinação das exigências de aminoácidos de peixes. Nestes estudos as dietas são formuladas através da técnica da suplementação, na qual visa o atendimento das exigências nutricionais e energéticas, com exceção do aminoácido a ser estudado. Este é suplementado na dieta basal na forma de aminoácido sintético, sendo possível isolar apenas o efeito do aminoácido avaliado. O método dose-resposta e a técnica de suplementação são preferenciais nos estudos realizados para determinação das exigências nutricionais de peixes e constituem-se a base para elaboração das tabelas de exigências nutricionais de peixes, como as Tabelas Brasileiras para a Nutrição de Tilápias (Furuya, 2010), Nutrient Requirements of Fish (1993) e o Nutrient Requirements of Fish and Shrimp (2011).

Ao se formular as dietas para a determinação das exigências de aminoácidos, observa-se que ao utilizar a técnica da suplementação ocorre o desbalanceamento entre o aminoácido testado e os demais, em função da inclusão daquele em níveis crescentes e a manutenção desses em níveis fixos. Essa alteração na relação entre os aminoácidos essenciais pode levar a distorções nos valores encontrados. Uma das alternativas para manutenção das relações entre os aminoácidos seria a utilização do conceito da proteína ideal. Este se refere ao balanceamento de aminoácidos capaz de prover, sem excesso ou deficiência, todos os aminoácidos essenciais,

expressando-os como porcentagem da lisina, que é o primeiro aminoácido limitante para peixes (Furuya et al., 2005). Assim, a estimativa da necessidade de lisina nas dietas pode diferir em função da estratégia de formulação adotada.

Além da técnica de formulação, verifica-se que a utilização de diferentes materiais genéticos pode afetar a demanda desses por nutrientes, entre esses, os aminoácidos. Assim, os avanços obtidos em programas de melhoramento genético têm levado a obtenção de animais com maior potencial de ganho de peso. Esses podem apresentar necessidades nutricionais diferentes daqueles que os deram origem, demandando constante reavaliação das necessidades nutricionais. Na produção de peixes, a tilápia do Nilo tem ocupado lugar de destaque no mercado, contando com alguns programas de melhoramento genético. Porém não há estudos reavaliando as necessidades nutricionais desses animais, de acordo com os avanços obtidos por esses programas, o que poderia prejudicar a expressão do potencial produtivo dos mesmos.

Esta tese é apresentada na forma de dois artigos científicos. O primeiro manuscrito apresenta as respostas de juvenis de tilápia a dietas formuladas por duas estratégias e com níveis crescentes de lisina (Experimento I). Já o segundo apresenta as respostas de pós-larvas com potencial de crescimento distinto a dietas com diferentes níveis de lisina (Experimento II).

1.1 Objetivos

O presente trabalho teve como proposta geral avaliar as respostas de desempenho de pós-larvas e juvenis de tilápia do Nilo, frente a diferentes níveis de lisina das dietas, avaliando:

- a) desempenho produtivo de juvenis recebendo dietas formuladas com o uso de duas técnicas de formulação, sendo a “técnica da suplementação de aminoácidos - SUP” e “técnica da suplementação de aminoácidos com o uso do conceito da proteína ideal - SPI”;
- b) respostas de crescimento de pós-larvas de crescimento rápido e de crescimento lento;
- c) alterações na demanda de lisina na dieta em função do potencial de crescimento das pós-larvas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)

A tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, integra o grupo de espécies que recebem a denominação genérica de tilápias, pertence à família Cichlidae (Perciformes), tendo a sua origem no continente africano e que atualmente é responsável pelo segundo lugar, atrás apenas das carpas, no ranking de espécies mais cultivadas globalmente (FAO, 2018). Embora seja relatado o cultivo comercial de mais de 22 espécies, a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) foi responsável por 78,11% da produção mundial de tilápias em 2016 (FAO, 2018). Porém, levando-se em consideração que a China, maior produtor de tilápias, declara toda a sua produção de tilápias como sendo tilápia do Nilo e, sabendo-se que na realidade a utilização de híbrido entre a tilápia do Nilo e a tilápia azul (*Oreochromis aureus*) é comum, estima-se que a participação real da tilápia do Nilo seja entre 50 e 60% da produção mundial de tilápias (Eknath e Hulata, 2009), que totalizou 5.377 milhões de toneladas no ano de 2016 (FAO, 2018).

No Brasil, a espécie *Oreochromis niloticus* foi introduzida no ano de 1971, inicialmente na região nordeste e a partir de então distribuída pelo país. Atualmente apresenta-se como uma das espécies mais importantes para o desenvolvimento da aquicultura nacional, sendo o país o quarto maior produtor de tilápias (Peixes BR, 2020). Em 2019 foram produzidas 432.149 toneladas de tilápia, correspondente a 57% da produção piscícola brasileira (Peixes BR, 2020). Entre as características apresentadas por esta espécie, destacam-se a rusticidade e tolerância a uma ampla faixa de condições de cultivo e ambientais, precocidade reprodutiva, capacidade de aproveitamento da produtividade primária e de utilização de alimentos artificiais imediatamente após a absorção do saco vitelino (El Sayed, 2006).

Com a expressiva participação na produção aquícola nacional e mundial, a busca por produtividades mais elevadas na piscicultura tem levado ao aumento na demanda por animais geneticamente superiores para características de interesse zootécnico em condições de cultivo intensivo, assim como de dietas balanceadas e adequadas ao uso em sistemas intensivos de produção (Botaro et al., 2007). Para atender essa demanda por dietas que sustentam o adequado desenvolvimento dos animais, de custo reduzido e com menor potencial poluidor, o conhecimento das exigências nutricionais, principalmente das exigências de proteína e de aminoácidos dos animais cultivados torna-se essencial (Hua, 2013).

Apesar da vasta literatura disponível acerca das exigências nutricionais da tilápia do Nilo, estando essas informações sumarizadas e os valores apresentados como preconizados para a

espécie no NRC (2011) e nas Tabelas brasileiras para a nutrição de tilápias (Furuya, 2010), pouco destaque foi e têm sido dado à especificação do material genético utilizado nos diversos estudos de determinação das exigências nutricionais. Dentre os aminoácidos, existe um esforço especial nos estudos com a lisina, por ser o primeiro aminoácido limitante na síntese proteica (Forster e Ogata, 1998; Abboudi et al., 2006) e em dietas produzidas a partir de ingredientes de origem vegetal (NRC, 2011), além de ser encontrada em elevada proporção no tecido muscular e metabolizada basicamente para deposição nesse tecido (Furuya et al., 2004a).

Contudo, há uma carência em estudos que avaliam se as respostas dos diferentes materiais genéticos de tilápia do Nilo diferem ou não em relação aos níveis de lisina e de outros nutrientes nas dietas, o que poderia contribuir para a especificação ou não das formulações utilizadas. Com a identificação e seleção de animais cada vez mais eficientes, torna-se necessária a constante reavaliação das exigências nutricionais e das respostas desses animais melhorados aos nutrientes das dietas.

2.1.1 Melhoramento genético em tilápias do Nilo

A busca por indivíduos com maior valor genético para características de interesse econômico na produção de tilápias não é tão recente, tendo sido a hibridação interespecífica e a produção de alevinos monossexuais os meios utilizados até meados dos anos 80. Com a mudança no perfil da tilapicultura da década de 70 para o final dos anos 90, a atividade deixou de ser de interesse apenas de pequenos produtores com baixa escala e com poucos recursos nos países subdesenvolvidos e em desenvolvimento, principalmente na Ásia, para ocupar lugar de commodity comercializada internacionalmente (Eknath e Hulata, 2009). Parte desse salto na produção da espécie se deve ao Projeto Genetic Improvement of Farmed Tilapia (GIFT), implantando pela International Center for Living Aquatic Resources Management (ICLARM) (atual WorldFish Center) nas Filipinas e que durou entre 1988 e 1997. Entre os resultados obtidos estão o ganho genético por geração de 12 a 17% ao longo de cinco gerações de seleção para crescimento, demonstrando uma boa resposta à seleção.

No Brasil, após a segunda importação oficial em 1996, ocorreu entre os anos de 2002 e 2005 a importação de duas linhagens resultantes de programas de melhoramento, sendo: a GenoMar Supreme Tilápia (GST), produzida pela empresa Norueguesa Genomar e a linhagem Genetic Improved Farmed Tilapia (GIFT) com origem na Malásia e que deu origem ao primeiro programa de melhoramento genético de tilápias do Nilo no país, implantado na Universidade Estadual de Maringá – UEM (Ribeiro et al., 2012). Já em 2012 foi iniciado o Programa de Melhoramento Genético NGTAqua – Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas

Gerais – UFMG, que tem como população base animais provenientes da segunda importação oficial realizada em 1996, que estavam em fazenda comercial e sendo mantida por algumas gerações em processo de seleção massal. Ainda, houve a introdução de animais da linhagem GST, fechando o que compõe a base do Programa de Melhoramento Genético NGTAqua – Escola de Veterinária.

2.2 Aminoácidos na nutrição de peixes

Em peixes, para a biossíntese proteica são utilizados os 20 aminoácidos primários. Esses são divididos em “categorias”, sendo a primeira dos aminoácidos essenciais, os quais os animais não conseguem sintetizar ou o fazem em quantidades incompatíveis com as demandas metabólicas. Estes são: arginina, lisina, metionina, histidina, leucina, isoleucina, fenilalanina, treonina, valina e triptofano. A segunda categoria é dos aminoácidos considerados semi-essenciais, representados pela cistina e a tirosina, que só podem ser sintetizados a partir dos seus precursores, a metionina e a fenilalanina, respectivamente (NRC, 2011). E por último, a categoria dos aminoácidos não essenciais, que são sintetizados em quantidades adequadas para atender a demanda dos animais, sendo eles: alanina, asparagina, aspartato, cisteína, glicina, glutamato, glutamina, prolina, serina (D’Mello, 2003). Buscando suprir a demanda por aminoácidos essenciais, esses devem ser fornecidos na dieta em um balanceamento que atenda as exigências dos animais, uma vez que os peixes não possuem necessidade específica em proteína bruta, mas sim de aminoácidos em quantidades e proporções adequadas (Wilson, 2003).

Entre os aminoácidos essenciais, a lisina (abreviação: Lys; símbolo: K) é considerada o primeiro aminoácido limitante na síntese proteica (Forster e Ogata, 1998; Abboudi et al., 2006), sendo encontrada em elevada proporção no tecido muscular e metabolizada basicamente para deposição nesse tecido (Furuya et al., 2004a). Quanto a sua estrutura química, a lisina apresenta um grupo carboxila, um grupo amino e um grupo R ligados ao mesmo átomo de carbono - o carbono α (Figura 1). Em função do seu grupo R, a lisina é hidrofílica e apresenta carga positiva quando em pH 7,0.

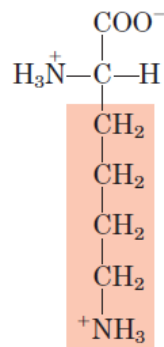


Figura 1. Fórmula estrutural da lisina. A porção não sombreada é aquela comum a todos os aminoácidos; a sombreada é o grupo R. Adaptado de Nelson e Cox (2014).

Além do fato de ser junto com a leucina os únicos aminoácidos apenas cetogênicos, ou seja, metabolizados para a produção de intermediários como o Acetoacetyl-CoA ou o Acetyl-CoA e não serem precursores da gliconeogênese (Cowey e Walton, 1989) (Figura 2), a lisina regula a síntese de carnitina nas células musculares esqueléticas e no fígado, favorecendo a beta-oxidação através do estímulo ao transporte de ácidos graxos de cadeia longa do citosol para a mitocôndria (Walton et al., 1984; Fagbenro et al., 1998; Li, et al., 2009).

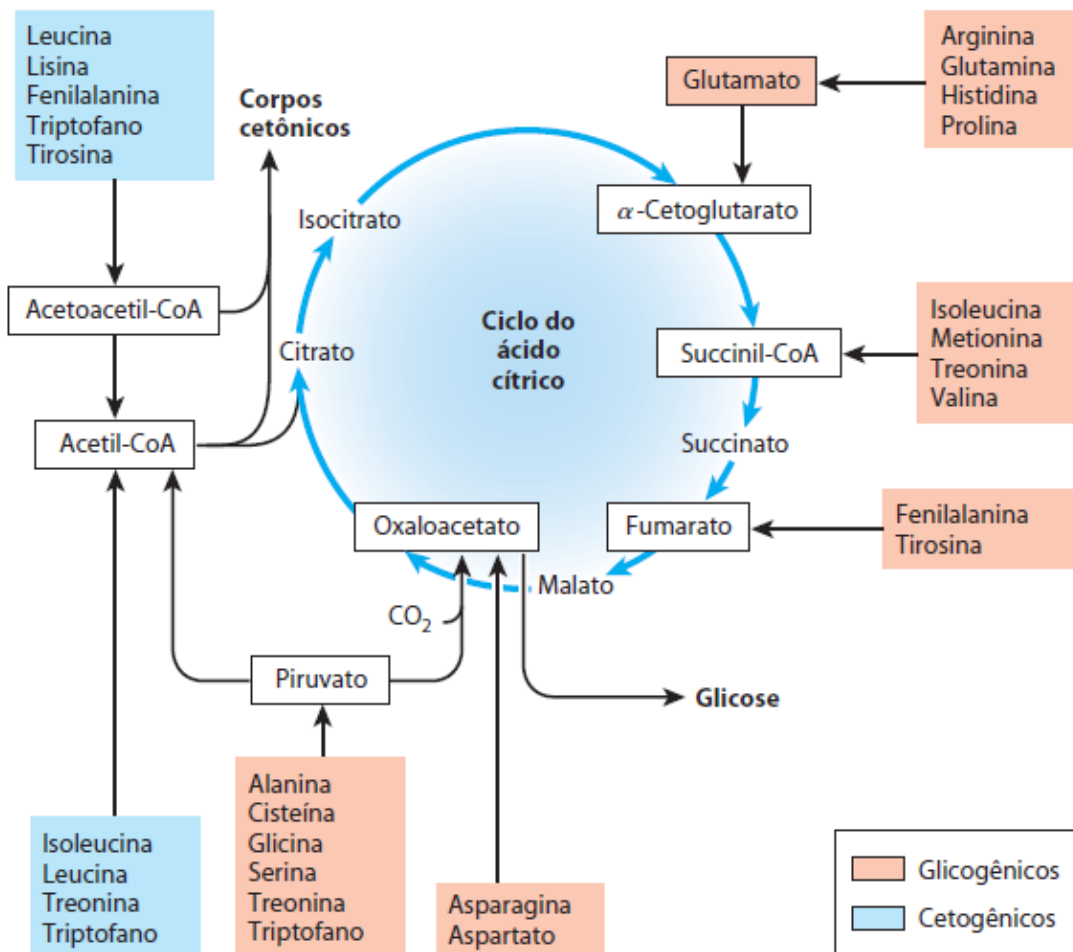


Figura 2. Resumo do catabolismo dos aminoácidos essenciais e não essenciais, agrupados conforme seu principal produto final de degradação e categorizados em glicogênicos e cetogênicos. Adaptado de Nelson e Cox (2014).

A lisina é comumente deficiente em dietas práticas com alta inclusão de ingredientes de origem vegetal em substituição a farinha de peixes (NRC, 2011; Cao et al., 2012), devendo ser fornecida na ração em quantidades adequadas para suprir as demandas de crescimento e sobrevivência adequadas (Li et al., 2009). Portanto, para o adequado balanceamento das rações a serem oferecidas, é necessário o conhecimento das exigências dos aminoácidos, em especial a lisina.

Diversos estudos já determinaram as exigências de lisina para as espécies aquícolas comumente cultivadas, sendo as informações compiladas em duas referências principais, o *Nutrient Requirements of Fish* – NRC (1993) e *Nutrient Requirements of Fish and Shrimp* - NRC (2011). Para a tilápia do Nilo, além dessas duas referências, há ainda a Tabela brasileira

para a nutrição de tilápias (Furuya, 2010) com resultados obtidos nas condições brasileiras. Os valores apresentados no NRC (1993) são provenientes basicamente do trabalho de Santiago e Lovell (1988), utilizando dietas purificadas e alimentando pós-larvas por oito semanas. Devido à escassez de informações na literatura, esta foi a principal referência para a formulação de dietas para a tilápia do Nilo em diferentes fases de desenvolvimento, inclusive em fases distintas das que foram avaliadas. Buscando atualizar as informações das exigências nutricionais de peixes, uma nova edição foi publicada 18 anos após a primeira, trazendo o NRC (2011) poucas alterações em relação aos valores apresentados anteriormente. Entre os aminoácidos que apresentaram alterações substanciais, podemos citar a lisina, metionina + cistina, histidina, isoleucina, leucina e valina. Ainda, foi mantida a recomendação única para todas as fases de desenvolvimento, assim como na edição anterior (Tabela 1). Apesar de Furuya (2010) apresentar as exigências nutricionais por fase de desenvolvimento, o número de trabalhos utilizados para subsidiar essas tabelas é reduzido e considerados a época já ultrapassados, devido aos avanços obtidos com o melhoramento genético, nas tecnologias de processamento de alimentos e no manejo alimentar.

Tabela 1. Exigências nutricionais para tilápia de acordo com o NRC (1993, 2011) e Furuya (2010).

Item	Unidade	NRC 1993	NRC 2011	Tabelas Brasileiras (Furuya, 2010)		
				Masculinização	Pós-masculinização até 100 g	≥100 g
Energia Digestível	Kcal kg ⁻¹	2500,00	3400,00	4007,00	3036,00	20,75
Proteína Bruta	%	28,00		41,30	29,73	26,80
Proteína Digestível	%		29,00	38,60	26,81	24,30
Lisina	%	1,43	1,60	2,20	1,53	1,38
Metionina	%	0,75	0,70	0,75	0,52	0,47
Metionina+cistina	%	0,90	1,00	1,32	0,92	0,83
Treonina	%	1,05	1,10	1,70	1,18	1,07
Arginina	%	1,18	1,20	1,81	1,26	1,14
Fenilalanina + tirosina	%	1,55	1,60	2,38	1,65	1,50
Histidina	%	0,48	1,00	0,75	0,52	0,47
Isoleucina	%	0,87	1,00	1,34	0,93	0,84
Leucina	%	0,95	1,90	1,46	1,01	0,92
Triptofano	%	0,28	0,30	0,43	0,30	0,27
Valina	%	0,78	1,50	1,20	0,83	0,75

A grande variabilidade nos resultados tem sido atribuída a diversos fatores, como a forma de expressão dos resultados (NRC, 2011); uso de diferentes materiais genéticos (Hauler e Carter, 2001; Bomfim et al., 2010); a alta inclusão de aminoácidos sintéticos (Wilson, 2003); o tipo de dieta; a estratégia de formulação, abordagens metodológicas e de análise de dados (Bureau e Encarnação, 2006); entre outros fatores.

2.3 Formulação de dietas para determinação das exigências nutricionais

Nos estudos de determinação das exigências nutricionais, a técnica de formulação das dietas experimentais é um aspecto importante a ser considerado no planejamento experimental. Geralmente utiliza-se a técnica da suplementação nos estudos, onde a resposta dos animais em crescimento é avaliada quando esses são submetidos a uma ingestão gradual do nutriente a ser estudado. A “técnica de suplementação gradativa de aminoácidos” (D’Mello, 1982) tem sido a mais utilizada para formular dietas experimentais nos estudos de determinação das exigências

nutricionais de aminoácidos para peixes (NRC, 2011). Essa fundamenta-se em uma dieta basal suficientemente deficiente no aminoácido teste e em doses graduais do aminoácido avaliado, de forma a gerar uma curva de resposta que vai desde níveis limitantes, com menores respostas, até a estabilidade na resposta. Entre as limitações da técnica, está a alteração no balanço de aminoácidos à medida que há aumento sucessivo do aminoácido limitante (Fisher e Morris, 1970), o que pode afetar o consumo de ração (D’Mello, 1982). Outra limitação da técnica da suplementação seria a dificuldade de se formular a dieta basal suficientemente deficiente no aminoácido teste, e que em níveis elevados de suplementação, o aminoácido testado pode não ser o primeiro limitante e que as respostas podem ser consequência de um segundo aminoácido limitante.

Para contornar a limitação da “técnica da suplementação” quanto ao balanço de aminoácidos, têm-se aplicado o conceito da proteína ideal. Este conceito não é recente e foi desenvolvido por Mitchell e colaboradores, na década de 1960. É definido como o balanceamento de aminoácidos adequado, buscando atender as exigências de aminoácidos, de forma que cada aminoácido essencial seja expresso em relação a um aminoácido referência, geralmente a lisina. Inicialmente utilizado na nutrição de suínos, o conceito da proteína ideal tem sido utilizado na nutrição de tilápias (Furuya et al., 2004b, 2005; Teixeira et al., 2008; Bomfim et al., 2008, 2010, Righetti et al., 2011) e como resultado tem sido relatada a possibilidade de redução dos níveis de proteína na dieta com a suplementação de aminoácidos sintéticos. Ressalta-se que o objetivo da aplicação do conceito da proteína ideal não deve ser apenas a redução dos níveis proteicos das dietas, mas sim o adequado balanceamento da dieta para que essa tenha um alto valor biológico.

Outro ponto importante relacionado ao conceito da proteína ideal é a possibilidade de sua utilização para a atualização das exigências nutricionais sem a necessidade de se reavaliar a exigências de todos os aminoácidos essenciais. A pouca variação nas relações entre os aminoácidos e o uso da lisina como aminoácido referência, contribuem para essa funcionalidade.

3. Referências bibliográficas

Abboudi, T., Mambrini, M., Ooghe, W., Larondelle, Y., Rollin, X., 2006. Protein and lysine requirements for maintenance and for tissue accretion in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fry. *Aquaculture*, 261, 369–383. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.07.041>

- Boisen, S., Hvelplund, T., Weisbjerg, M.R., 2000. Ideal amino acid profiles as a basis for feed protein evaluation. *Livest. Prod. Sci.*, 64, 239-251. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(99\)00146-3](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(99)00146-3)
- Bomfim, M.A.D., Lanna, E.A.T., Donzele, J.L., Ferreira, A.S., Ribeiro, F.B., Takishita, S.S., 2008. Exigência de metionina mais cistina, com base no conceito de proteína ideal, em rações para alevinos de tilápia-do-nilo. *R. Bras. Zootec.*, 37, 783-790.
- Bomfim, M.A.D., Lanna, E.T.A., Donzele, J.L.D., Quadros, M., Ribeiro, F.B., Sousa, M.P., 2010. Níveis de lisina com base no conceito de proteína ideal em rações para alevinos de tilápia-do-Nilo. *R. Bras. Zootec.*, 39, 1-8. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000100001>
- Botaro, D., Furuya, W.M., Silva, L.C.R., Santos, L.D., Silva, T.S.C., Santos, V.G., 2007. Redução da proteína da dieta com base no conceito de proteína ideal para tilápias-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) criadas em tanques-rede. *R. Bras. Zootec.*, 36, 517-525. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000300001>
- Bureau, D.P., Encarnação, P.M., 2006. Adequately defining the amino acid requirements of fish: the case example of lysine. In: SIMPOSIUM INTERNACIONAL DE NUTRICIÓN ACUÍCOLA: AVANCES EN NUTRICIÓN ACUÍCOLA, 8., Monterrey. Anais... Monterrey, 29-54.
- Cao, J.M., Chen, Y., Zhu, X., Huang, Y.H., Zhao, H.X., Li, G.L., Lan, H.B., Chen, B., & Pan, Q., 2012. A study on dietary l-lysine requirement of juvenile yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco*. *Aquaculture Nutrition*, 18, 35-45. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2011.00874.x>
- Cowey, C.B., Walton, M. J., 1989. Intermediary catabolism. In: *Fish Nutrition* (Halver, J. E., Ed). 2nd Ed. Academic Press, San Diego, CA. pp 259-329.
- D'Mello, J.P.F., 1982. A comparison of two empirical methods of determining amino acids requirements. *World's Poultry Science Journal*, 38, p.114-119.
- D'Mello, J.P.F., 2003. *Amino acids in animal nutrition*. 2nd ed. Wallingford: CABI Publishing, 546p.
- Ekmath, A.E., Hulata, G., 2009. Use and exchange of genetic resources of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Rev. Aquacult.*, 1, 197-213. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2009.01017.x>

- El-Sayed, A.F.M., 2006. Tilapia culture. Alexandria, Egypt: Oceanography Department, Faculty of Science, Alexandria University, 277p.
- Fagbenro, O. A.; Balogun, A. M.; Fasakin, E. A., 1998. Dietary lysine requirement of the African catfish, *Clarias gariepinus*. J. Appl. Aquac., 8, 71-77.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018. The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals. Rome.
- Fisher, C., Morris, T. R., 1970. The determination of the methionine requirement of laying pullets by a diet dilution technique. British Poultry Science 11, 67–82.
- Forster, I., Ogata, Y., 1998. Lysine requirement of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* and juvenile red sea bream *Pagrus major*. Aquaculture, 161, 131-142.
- Furuya, W. M., 2010. Tabelas brasileiras para a nutrição de tilápias, GFM, Toledo.
- Furuya, W.M., Botaro, D., Neves, P.R., Silva, L.C.R., Hayashi, C., 2004a. Exigência de lisina pela Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), na fase de terminação. Cienc. Rural 34, 1571–1577.
- Furuya, W.M., Pezzato, L.E., Barros, M.M., Pezzato, A.C., Furuya, V.R.B, Miranda, E.C., 2004b. Use of ideal protein concept for precision formulation of amino acid levels in fish-meal-free diets for juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). Aquac. Res., 35, 1110-1116. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2004.01133.x>
- Furuya, W.M., Botaro, D., Macedo, R.M.G., Santos, V.G., Silva, L.C.R., Silva, T.C., Furuya, V.R.B., Sales, P.J.P., 2005. Aplicação do Conceito de Proteína Ideal para Redução dos Níveis de Proteína em Dietas para Tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). R. Bras. Zootec., 34, 1433-1441.
- Hauler, R.C., Carter, C.G., 2001. Reevaluation of the quantitative dietary lysine requirements of fish. Rev. Fish. Sci., 9, 133–163. <https://doi.org/10.1080/20016491101735>
- Hua, K., 2013. Investigating the appropriate mode of expressing lysine requirement of fish through non-linear mixed model analysis and multilevel analysis. Br. J. Nutr., 109, 1013-1021. <https://doi.org/10.1017/S0007114512002863>

- Li, P., Mai, K., Trushenski, J., & Wu, G., 2009. New developments in fish amino acid nutrition: towards functional and environmentally oriented aquafeeds. *Amino Acids*, 37, 43-53. <https://doi.org/10.1007/s00726-008-0171-1>
- Nelson, D.L., Cox, M.M., 2014. *Princípios de bioquímica de Lehninger*. Porto Alegre: Artmed, 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2014.
- NRC - National Research Council, 1993. *Nutrient Requirements of Fish*. National Academy Press, Washington D.C., USA.
- NRC - National Research Council, 2011. *Nutrient Requirements of Fish and Shrimp*. National Academy Press, Washington, DC., USA.
- Peixe BR – Associação Brasileira da Piscicultura Anuário Brasileiro da Piscicultura PEIXE BR 2020. São Paulo, SP, Brasil.
- Ribeiro, R.P., Oliveira, C.A.L., Resende, E.K., Vargas, L., Filho, L.A., Legat, A.P., 2012. Tilápias do Nilo têm programa de melhoramento genético em curso. *Visão Agrícola*, 11, 61-64.
- Righetti, J.S., Furuya, W.M., Conejero, C.I., Graciano, T.S., Vidal, L.V.O., Michellato, M., 2011. Redução da proteína em dietas para tilápias-do-nilo por meio da suplementação de aminoácidos com base no conceito de proteína ideal. *R. Bras. Zootec.*, 40, 469-476.
- Santiago, C.B., Lovell, R.T., 1988. Amino acids requirement for growth of Nile tilapia. *Nutrition*, 118, 1540–1546. <https://doi.org/10.1093/jn/118.12.1540>
- Teixeira, E.A., Crepaldi, D.V., Faria, P.M.C., Ribeiro, L.P., Melo, D.C., Euler, A.C.C., 2008. Composição corporal e exigências nutricionais de aminoácidos para alevinos de tilápia (*Oreochromis* sp.). *Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.*, 9, 239-246.
- Walton, M.J., Cowey, C.B., Adron, J.W., 1984. The effect of dietary lysine levels on growth and metabolism of rainbow trout. *Br. J. Nutr.* 52, 115-122.
- Wilson, R.P., 2003. Amino acid requirements of finfish and crustaceans. In: D’Mello, J.P.F. (Ed.), *Amino acids in animal nutrition* (pp. 427-447). Cambridge: CABI Publishing.

- CAPÍTULO 2 -

Experimento I

Efeito de duas técnicas de formulação das dietas em estudos de exigências de lisina para tilápia do Nilo de 20 a 160 gramas

Artigo formatado conforme as normas da revista Aquaculture, ainda em português.

Título:

Efeito de duas técnicas de formulação das dietas em estudos de exigências de lisina para tilápia do Nilo de 20 a 160 gramas

Gabriel Francisco de Oliveira Alves⁽¹⁾, Giovanna Viana Ribeiro⁽¹⁾, Lara Quintanilha Goulart⁽¹⁾, Stéphanie Cristine Pereira Assunção⁽¹⁾, Stefani Grace da Silva Moraes⁽¹⁾, Ludson Guimarães Manduca⁽¹⁾, Francisco Carlos de Oliveira Silva⁽²⁾, Érika Ramos de Alvarenga⁽¹⁾, Eduardo Maldonado Turra⁽¹⁾, Edgar de Alencar Teixeira^{(1)*}

(1) Laboratório de Aquacultura (LAQUA). Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Antônio Carlos, nº 6627. Caixa Postal 567. Campus da UFMG. CEP 30123-970. Belo Horizonte, MG – Brasil.

(2) Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Campus UFV - Vila Gianetti, nº 47. Caixa Postal 216. CEP 36571-000. Viçosa, MG – Brasil.

* Autor correspondente:

Telefone: +55 31 3409 2190

E-mail: edgarvet@hotmail.com (Teixeira, E.A.)

Resumo

Diversos estudos têm apresentado as necessidades nutricionais de lisina para peixes e observa-se grande variabilidades nos resultados apresentados. Entre os fatores que podem levar a distorções nos resultados experimentais, destacam-se as técnicas de formulação das dietas experimentais, que podem levar à alteração no balanceamento de aminoácidos. Uma alternativa para manutenção adequada do perfil de aminoácidos, é a utilização do conceito da proteína ideal. Considerando o uso majoritário da técnica de suplementação de aminoácidos, em que há alterações nas relações aminoacídicas, o objetivo desse estudo foi avaliar a resposta de juvenis de tilápia do Nilo de 20,0 a 160,0 g alimentados com dietas com níveis crescentes de lisina (1,50; 1,74; 1,98; 2,22; 2,46 e 2,70%) e formuladas com o uso da técnica da suplementação de aminoácidos (SUP) e técnica da suplementação de aminoácidos com o uso do conceito da proteína ideal (SPI). O estudo foi conduzido em um delineamento em blocos casualizados, mantendo condições de cultivo semelhantes nos blocos temporais. Os peixes foram alimentados cinco vezes ao dia, durante 56 dias e em sistema de recirculação de água. Verificou-se que a sobrevivência não foi afetada pelos níveis de lisina e nem pela estratégia de formulação. O consumo de ração foi afetado pelos níveis de lisina, não apresentando um efeito claro em relação aos níveis de lisina na dieta. O peso médio final, ganho de peso diário, conversão alimentar e eficiência de retenção de proteínas não diferiram entre níveis de lisina e nem entre estratégias de formulação. O consumo diário de lisina por peixe apresentou comportamento linear crescente em relação aos níveis de lisina ($Y = -15,31 + 36,91 * \text{Lisina}$; $R^2 = 0,5791$), enquanto o consumo de lisina por quilo de ganho de peso metabólico diferiu quanto aos níveis de lisina e técnica de formulação ($Y = -30,17 + 265,35 * \text{Lisina} - 5,67 * \text{Formulação} - 7,02 * \text{Lisina} * \text{Formulação}$; $R^2 = 0,9229$; onde se atribui valor zero para formulação SUP, e valor um para formulação pela técnica SPI). A composição corporal não alterou em relação aos fatores avaliados ($P > 0,05$). Em conclusão, verifica-se que o consumo de lisina por quilo de ganho de peso metabólico foi linear e crescente em relação aos níveis de lisina nas dietas, sendo menor para as dietas formuladas pela técnica SPI. Para as outras variáveis de desempenho, a resposta dos peixes foi similar em relação aos níveis de lisina nas dietas, sugerindo a reavaliação com concentrações inferiores de lisina.

Palavras-chave: *Oreochromis niloticus* proteína ideal, aminoácidos, balanceamento, suplementação

1. Introdução

As estimativas das exigências nutricionais de peixes são de fundamental importância no contexto da produção comercial. A quantidade e a qualidade da proteína nas dietas formuladas, mais especificamente o balanceamento de aminoácidos, é fundamental para a maximização do desempenho e a redução da excreção de nitrogênio, uma vez que peixes não possuem exigência específica por proteína bruta, mas por um adequado balanceamento de aminoácidos essenciais e não-essenciais (Wilson e Poe, 1985).

Entre os aminoácidos essenciais, a avaliação das respostas de peixes à adição de lisina nas dietas foi e ainda é priorizada na maioria dos estudos que envolvem a nutrição de peixes. A ênfase dada ao estudo da lisina para peixes deve-se, entre outros motivos, ao fato de ser o primeiro aminoácido limitante na síntese proteica (Forster e Ogata, 1998; Abboudi et al., 2006), comumente deficiente em dietas práticas com alta inclusão de ingredientes de origem vegetal em substituição a farinha de peixes (NRC, 2011; Cao et al., 2012), por regular a síntese da carnitina (Walton et al., 1984; Fagbenro et al., 1998; Li, et al., 2009) e ser encontrada em elevada proporção no tecido muscular, sendo metabolizada basicamente para deposição nesse tecido (Furuya et al., 2004).

Variações significativas entre as estimativas das exigências são observadas. Uma parcela das variações é atribuída às diferenças entre espécies, mas parte das variações ocorre para uma mesma espécie e em uma mesma fase de desenvolvimento. Estas últimas são atribuídas à genética, idade, desenho do ensaio, dietas, condições experimentais e as ferramentas matemáticas utilizadas para estimar as exigências, que podem levar a efeitos significativos sobre os requerimentos de aminoácidos (Hauler e Carter, 2001; Bureau e Encarnação, 2006).

As dietas utilizadas nos estudos de determinação das necessidades de lisina são formuladas basicamente com o uso de duas estratégias, sendo elas a técnica da suplementação de aminoácidos – SUP, e a técnica da diluição da dieta - DIL (D’Mello, 2003). A SUP visa o atendimento das exigências nutricionais e energéticas, com exceção do aminoácido a ser estudado. Este é suplementado na dieta basal na forma de aminoácido sintético, sendo possível isolar apenas o efeito do aminoácido avaliado (D’Mello, 1982). Como principal limitação dessa técnica, temos a alteração no balanço de aminoácidos das dietas à medida que há aumento sucessivo do aminoácido limitante, o que pode influenciar os resultados (Fisher e Morris, 1970; Gous e Morris, 1985). A segunda estratégia, DIL, baseia-se em diluições sequenciais de uma dieta de alto teor proteico com uma mistura isenta de proteínas e isoenergética, de forma a se obter níveis graduais do aminoácido a ser testado nas dietas, mantendo o balanço de

aminoácidos (Gous, 1980; Morris et al., 1987). Contudo, com o uso dessa estratégia, as dietas apresentam concentrações de proteína progressivamente mais baixas, e se pressupõem que a eficiência da utilização do aminoácido limitante é independente do nível de proteína na dieta, objeto de algumas controvérsias em peixes (Cowey e Cho, 1993; NRC, 2011). Ambas as técnicas têm sido utilizadas em estudos com peixes, com a maioria dos trabalhos realizados com a SUP (Santiago e Lovell, 1988; Furuya et al., 2004, 2006, 2013; Ovie e Eze, 2013; Nguyen e Davis, 2016; Gatrell et al., 2017; Hua et al., 2019; Lee et al., 2020) e em menor número, com a DIL (Abboudi et al., 2007; Liebert e Benkendorff, 2007; Liebert, 2009).

Para contornar a limitação da redução progressiva da concentração de proteína apresentada pela técnica da diluição, existe a possibilidade de utilização da técnica da suplementação com a correção do balanço de aminoácidos com o uso do conceito da proteína ideal - SPI. Este se refere ao balanceamento de aminoácidos capaz de prover, sem excesso ou deficiência, todos os aminoácidos essenciais, expressando-os como porcentagem da lisina, que é o primeiro aminoácido limitante para peixes (Furuya et al., 2005). Embora alguns estudos de exigências nutricionais tenham utilizado a técnica da SPI para a formulação das dietas experimentais (Takishita et al., 2009; Bomfim et al., 2010; Michelato et al., 2016), a literatura é carente quanto a trabalhos que tenham comparado dietas formuladas através da SUP com dietas formuladas através da SPI na avaliação da resposta da tilápia do Nilo à níveis crescentes de lisina. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho de juvenis de tilápia do Nilo recebendo dietas com níveis crescentes de lisina e formuladas com o uso de duas técnicas de formulação, sendo a “técnica da suplementação de aminoácidos - SUP” e “técnica da suplementação de aminoácidos com o uso do conceito da proteína ideal - SPI”.

2. Material e Métodos

2.1 Local de realização

O experimento foi realizado na Sala de Nutrição e Avaliação de Digestibilidade de Alimentos para Peixes, instalada nas dependências do Laboratório de Aquicultura (LAQUA) da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG, Brasil. O estudo foi aprovado na Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal de Minas Gerais sob o protocolo de nº346/2018, e todos os procedimentos experimentais foram realizados em aquiescência com as leis e diretrizes locais e nacionais sobre bem-estar animal.

2.2 Delineamento experimental e animais utilizados

Foi empregado um esquema fatorial 6 x 2 (níveis de lisina x técnica de formulação das dietas), totalizando 12 tratamentos com 4 repetições. Devido à limitação no número de unidades experimentais disponíveis, o presente estudo foi realizado em delineamento em blocos casualizados, considerando os efeitos temporais em dois blocos. Cada bloco experimental teve a duração de 8 semanas (56 dias) e foram utilizados 288 juvenis de tilápia do Nilo por bloco, sendo o peso médio inicial de $21,23 \pm 0,51$ g e $20,50 \pm 0,54$ g no primeiro e segundo bloco, respectivamente. Em cada unidade experimental foram estocados 12 juvenis de tilápia do Nilo.

Para o experimento foi utilizado um total de 576 juvenis masculinizados de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), provenientes da população base do Programa de Melhoramento Genético NGTAqua – Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil. As matrizes e reprodutores utilizados para a produção dos peixes do primeiro bloco foram os mesmos utilizados para a produção dos animais do segundo bloco. Previamente a cada bloco, os animais foram aclimatados e adaptados as condições experimentais por um período de oito dias, quando alcançaram o peso em que foi iniciado o estudo.

2.3 Instalações e manejo

Para a avaliação das dietas com níveis distintos de lisina e formuladas com o uso de duas estratégias, utilizou-se um sistema fechado de recirculação de água, com 24 tanques quadrados de fibra de vidro, volume útil de cada tanque de 100 litros e com o fundo adaptado para coleta de fezes, semelhantes ao modelo Guelf, modificado por Cho e Slinger (1979), e descrito por Sakomura e Rostagno (2007). O sistema de recirculação de água foi abastecido com água proveniente de poço artesiano, adequada para o cultivo de peixes. Ainda, o sistema contava com aeração individual e constante, aquecimento e controle de temperatura, filtração mecânica e filtração biológica. O fluxo de água foi mantido em 1,67 litros por minuto, propiciando uma troca completa de água a cada hora.

Quanto a manutenção da qualidade de água durante o estudo, a temperatura, o oxigênio dissolvido e o pH foram monitorados diariamente, sendo mantidos dentro da faixa recomendada para a espécie (Kubitza, 2003), conforme a Tabela 1. Nitrogênio amoniacal total (N-AT) e nitrogênio nítrico (N-NO₂⁻) foram determinados uma vez por semana com o uso de kits comerciais (Alcon, Camboriú, SC Brasil). Já a alcalinidade foi determinada uma vez por semana através de método titulométrico, e mantida entre 45 e 60 mg/l de CaCO₃.

Tabela 1. Parâmetros de qualidade de água durante cultivo de juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) recebendo dietas com distintos níveis de lisina e formuladas por duas estratégias diferentes.

Bloco	Parâmetro				
	Oxigênio (mg/L)	Temperatura (°C)	pH	N-AT (mg/L)	N-NO ₂ ⁻ (mg/L)
1	5,63 ± 0,74	28,35 ± 1,82	7,17 ± 0,31	<0,10	<0,10
2	5,42 ± 0,89	27,91 ± 1,78	7,01 ± 0,36	<0,10	<0,10
Kubitza (2003)	>3,00	27,00 – 32,00	6,00 – 8,50	<1,00	<1,00

Durante o estudo foi mantido o fotoperíodo de 12 horas. Os animais foram alimentados até a saciedade aparente, cinco vezes ao dia (8, 10, 12, 14 e 16 horas). Após cada alimentação as sobras de ração foram recolhidas e armazenadas em freezer à -18°C. Posteriormente, as sobras foram secas em estufa ventilada à 55°C, pesadas e descontadas do total fornecido. Inicialmente e a cada quatorze dias, uma biometria foi realizada utilizando balança eletrônica e todos os animais foram contados para a avaliação da sobrevivência.

Um ajuste na densidade de estocagem foi realizado no 28° e no 42° dia experimental, com o objetivo de permitir a manutenção do desenvolvimento dos animais, evitando o provável confundimento entre os efeitos de densidades de estocagem elevadas e as respostas às diferentes dietas avaliadas. No 28° dia experimental o número de peixes por caixa foi ajustado para nove animais. Já no 42° dia, a densidade de estocagem foi ajustada para 6 indivíduos por caixa. Em ambas as situações, o ajuste foi realizado imediatamente após a biometria de rotina, sendo retirados peixes com peso médio individual semelhante ao encontrado para os animais da caixa. Nas unidades experimentais em que o número de indivíduos era menor que o necessário para manutenção de acordo com o pré-determinado para o ajuste, devido a ocorrência de mortalidade, este foi mantido e não houve a inserção de novos animais no estudo.

2.4 Técnicas de formulação e dietas experimentais

As dietas com distintos níveis de lisina foram formuladas com o emprego de duas estratégias de formulação, sendo: Técnica da suplementação gradativa dos aminoácidos e Técnica da suplementação gradativa dos aminoácidos com uso do conceito da proteína ideal. Em ambos os casos, as misturas de ingredientes foram à base de milho, farelo de soja, farinha de vísceras de aves, glúten de milho, quirera de arroz e farelo de trigo. As dietas foram formuladas para atender as exigências nutricionais de tilápias, de acordo com as recomendações apresentadas no NRC (2011), com exceção da lisina. Todos os ingredientes utilizados foram previamente moídos, em moinho de discos com peneira de 1,0 mm. Após a moagem, os ingredientes foram pesados e misturados. As dietas foram processadas por extrusão, em uma

extrusora de rosca simples (INBRA MX-40, Inbramaq, Ribeirão Preto, SP, Brasil), obtendo-se péletes com o diâmetro variando entre 2 e 4 mm.

2.4.1 Técnica da suplementação gradativa dos aminoácidos

Com o objetivo de obter níveis crescentes de lisina nas dietas, foi utilizada a “Técnica de suplementação gradativa de aminoácidos”, de acordo com D’Mello (1982). L-lisina HCl (78,5%) foi adicionada em doses graduais à mistura basal, substituindo o ácido L-glutâmico e mantendo-se fixos todos os demais componentes da dieta (Tabela 2). Como resultado, têm-se dietas com níveis crescentes de lisina e todos os demais aminoácidos com os seus teores fixos (Tabela 4), resultando na alteração das relações entre aminoácido:lisina à medida que se aumenta os teores de lisina (Tabela 5).

2.4.2 Técnica da suplementação gradativa dos aminoácidos com uso do conceito da proteína ideal

Similar a “Técnica da suplementação gradativa dos aminoácidos” e utilizando os mesmos insumos, as dietas foram formuladas com níveis crescentes de lisina e com o perfil de aminoácidos corrigido com o uso do conceito da proteína ideal. À medida que a L-lisina HCl (78,5%) foi adicionada à mistura basal, substituindo o ácido L-glutâmico, os outros aminoácidos essenciais também foram corrigidos, mantendo a relação aminoácido:lisina sugerida no NRC (2011). Os ajustes foram realizados para a metionina (DL-Metionina), treonina (L-Treonina), triptofano (L-Triptofano), valina (L-Valina) e arginina (L-Arginina). As formulações e composições químicas, teores de aminoácidos e relação entre os aminoácidos e lisina podem ser verificados nas tabelas 3, 4, e 5.

Tabela 2. Formulação e composição química das dietas com distintos níveis de lisina formuladas pela técnica da suplementação de aminoácidos para juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*).

Ingredientes (g kg ⁻¹)	Níveis de lisina (%)					
	1,50	1,74	1,98	2,22	2,46	2,70
Milho grão	405,70	405,70	405,70	405,70	405,70	405,70
Farelo de Soja 45% PB	203,00	203,00	203,00	203,00	203,00	203,00
Farinha de vísceras de aves	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Glúten de milho 60% PB	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00
Quirera de arroz	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
Farelo de trigo	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
L-Ácido Glutâmico	46,50	43,40	40,30	37,20	34,10	31,00
L-Lisina	5,00	8,10	11,20	14,30	17,40	20,50
Fosfato bicálcico	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00
Óleo de Soja	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
L-Valina	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
L-Treonina	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80
Sal comum	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Óxido de Cromo	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Premix ^a	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
DL-Metionina	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60
L-Triptofano	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
Vitamina C	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
BHT ^b	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20

Composição química analisada (g kg⁻¹ matéria seca)

Matéria seca	938,94	934,03	931,61	936,08	932,92	932,60
Proteína bruta	287,67	294,49	293,62	292,96	295,94	294,01
Proteína digestível	253,79	263,51	263,47	269,59	269,00	261,69
Extrato etéreo	45,09	39,73	43,55	40,91	38,46	40,70
Energia digestível (Mj kg ⁻¹)	15,86	15,90	16,02	16,62	16,21	15,53
Matéria mineral	70,36	69,20	69,58	70,67	69,80	70,19
Cálcio ^c	11,39	11,39	11,39	11,39	11,39	11,39
Fósforo disponível ^c	8,28	8,28	8,28	8,28	8,28	8,28

^a Premix Vaccinar Peixe Tropical com Vit. C (*inclusão 4 kg ton⁻¹*): Vitamina A (2.000.000 UI); Vitamina D3 (500.000 UI); Vitamina E (15.000 UI); Ácido Fólico (750 mg); Ácido Pantotênico (3.750 mg); Biotina (125 mg); Colina (125.000 mg); Niacina (7.800 mg); Vitamina B1 (2.500 mg); Vitamina B12 (5.000 mcg); Vitamina B2 (2.500 mg); Vitamina B6 (2.000 mg); Vitamina C (53.000 mg); Vitamina K3 (1.000 mg); Cobre (2.000 mg); Ferro (15.000 mg); Iodo (125 mg); Manganês (3.750 mg); Selênio (75 mg); Zinco (20.000 mg).

^b BHT: Hidroxitolueno butilado

^c Calculado

Tabela 3. Formulação e composição química das dietas com distintos níveis de lisina formuladas pela técnica da suplementação de aminoácidos com o uso do conceito da proteína ideal para juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*).

Ingredientes (g kg ⁻¹)	Níveis de lisina (%)					
	1,50	1,74	1,98	2,22	2,46	2,70
Milho grão	405,70	405,70	405,70	405,70	405,70	405,70
Farelo de Soja 45% PB	203,00	203,00	203,00	203,00	203,00	203,00
Farinha de vísceras de aves	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Glúten de milho 60% PB	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00
Quirera de arroz	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
Farelo de trigo	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
L-Ácido Glutâmico	49,00	39,90	30,00	19,40	8,80	0,00
L-Lisina	5,00	8,10	11,20	14,30	17,40	20,50
Fosfato bicálcico	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00
Óleo de Soja	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
L-Valina	3,00	5,50	8,00	10,00	12,20	14,10
L-Arginina	0,00	0,00	1,00	2,90	4,70	6,20
L-Treonina	2,10	3,70	5,40	7,00	8,70	10,00
Sal comum	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Óxido de Cromo	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Premix ^a	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
DL-Metionina	3,00	4,40	5,60	7,20	8,60	9,40
L-Triptofano	1,00	1,50	1,90	2,30	2,70	2,90
Vitamina C	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
BHT ^b	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20

Composição química analisada (g kg⁻¹ matéria seca)

Matéria seca	932,65	928,19	933,99	930,70	931,42	928,21
Proteína bruta	287,06	278,76	283,16	287,73	295,84	307,58
Proteína digestível	258,58	246,83	248,46	258,24	263,36	277,97
Extrato etéreo	45,92	42,19	44,27	37,05	38,32	36,57
Energia digestível (Mj kg ⁻¹)	16,24	16,02	15,56	16,03	16,08	16,44
Matéria mineral	69,21	69,57	68,36	69,95	69,59	70,02
Cálcio ^c	11,39	11,39	11,39	11,39	11,39	11,39
Fósforo disponível ^c	8,28	8,28	8,28	8,28	8,28	8,28

^a Premix Vaccinar Peixe Tropical com Vit. C (*inclusão 4 kg ton⁻¹*): Vitamina A (2.000.000 UI); Vitamina D3 (500.000 UI); Vitamina E (15.000 UI); Ácido Fólico (750 mg); Ácido Pantotênico (3.750 mg); Biotina (125 mg); Colina (125.000 mg); Niacina (7.800 mg); Vitamina B1 (2.500 mg); Vitamina B12 (5.000 mcg); Vitamina B2 (2.500 mg); Vitamina B6 (2.000 mg); Vitamina C (53.000 mg); Vitamina K3 (1.000 mg); Cobre (2.000 mg); Ferro (15.000 mg); Iodo (125 mg); Manganês (3.750 mg); Selênio (75 mg); Zinco (20.000 mg).

^b BHT: Hidroxitolueno butilado

^c Calculado

Tabela 4. Teores de aminoácidos totais de dietas com diferentes níveis de lisina e formuladas pela técnica da suplementação de aminoácidos e técnica da suplementação de aminoácidos com o uso do conceito da proteína ideal para juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*).

Aminoácidos (%)	Técnica da suplementação						Técnica da suplementação com uso do conceito da proteína ideal					
	Níveis de lisina (%)						Níveis de lisina (%)					
	1,50	1,74	1,98	2,22	2,46	2,70	1,50	1,74	1,98	2,22	2,46	2,70
<i>Essenciais</i>												
Arginina	1,45	1,46	1,48	1,43	1,44	1,42	1,55	1,51	1,54	1,87	1,86	2,01
Fenilalanina	1,19	1,18	1,21	1,20	1,07	1,15	1,18	1,24	1,15	1,24	1,15	1,20
Histidina	0,53	0,53	0,54	0,51	0,53	0,51	0,53	0,52	0,52	0,52	0,53	0,54
Isoleucina	0,99	0,96	1,00	0,98	0,95	0,94	1,01	0,98	0,93	1,04	0,99	0,98
Leucina	2,28	2,25	2,27	2,24	2,19	2,20	2,31	2,35	2,22	2,36	2,18	2,30
Lisina	1,49	1,93	2,00	2,22	2,39	2,87	1,44	1,79	1,97	2,21	2,49	2,73
Metionina	0,71	0,71	0,71	0,67	0,67	0,70	0,58	0,73	0,87	1,00	1,11	1,18
Treonina	1,03	1,02	1,05	1,04	1,05	1,04	1,14	1,20	1,32	1,60	1,61	1,82
Triptofano	0,29	0,28	0,30	0,32	0,30	0,29	0,29	0,35	0,39	0,36	0,45	0,46
Valina	1,57	1,53	1,55	1,50	1,51	1,48	1,48	1,62	1,79	2,11	2,18	2,37
<i>Não essenciais</i>												
Ácido Aspártico	2,06	2,01	1,98	2,09	2,00	1,97	2,13	2,15	2,02	2,11	2,01	2,04
Ácido Glutâmico	8,18	7,76	7,89	7,34	7,02	6,62	8,97	7,91	6,63	6,05	4,73	4,04
Alanina	1,40	1,37	1,40	1,37	1,36	1,34	1,47	1,44	1,37	1,48	1,37	1,40
Cistina	0,35	0,37	0,36	0,40	0,32	0,38	0,67	0,40	0,38	0,70	0,45	0,43
Glicina	1,18	1,16	1,19	1,16	1,16	1,14	1,30	1,22	1,17	1,27	1,17	1,20
Prolina	1,74	1,70	1,72	1,71	1,70	1,66	1,80	1,78	1,70	1,79	1,71	1,75
Serina	1,23	1,21	1,26	1,28	1,24	1,24	1,38	1,34	1,32	1,38	1,29	1,38
Tirosina	0,83	0,82	0,87	0,83	0,79	0,80	0,83	0,80	0,84	0,86	0,84	0,81

Tabela 5. Relação aminoácido:lisina (%) de dietas com diferentes níveis de lisina e formuladas pela técnica da suplementação de aminoácidos e técnica da suplementação de aminoácidos com o uso do conceito da proteína ideal para juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*).

Aminoácido	NRC (2011)	Níveis de lisina (%)					
		1,50	1,74	1,98	2,22	2,46	2,70
<i>Técnica da suplementação dos aminoácidos</i>							
Arginina	75,00	97,32	75,65	74,00	64,41	60,25	49,48
Fenilalanina		79,87	61,14	60,50	54,05	44,77	40,07
Histidina	62,50	35,57	27,46	27,00	22,97	22,18	17,77
Isoleucina	62,50	66,44	49,74	50,00	44,14	39,75	32,75
Leucina	118,75	153,02	116,58	113,50	100,90	91,63	76,66
Lisina	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Metionina	43,75	47,65	36,79	35,50	30,18	28,03	24,39
Metionina+Cistina	62,50	71,14	55,96	53,50	48,20	41,42	37,63
Treonina	68,75	69,13	52,85	52,50	46,85	43,93	36,24
Triptofano	18,75	19,46	14,51	15,00	14,41	12,55	10,10
Valina	93,75	105,37	79,27	77,50	67,57	63,18	51,57
<i>Técnica da suplementação com o uso do conceito da proteína ideal</i>							
Arginina	75,00	107,64	84,36	78,17	84,62	74,70	73,63
Fenilalanina		81,94	69,27	58,38	56,11	46,18	43,96
Histidina	62,50	36,81	29,05	26,40	23,53	21,29	19,78
Isoleucina	62,50	70,14	54,75	47,21	47,06	39,76	35,90
Leucina	118,75	160,42	131,28	112,69	106,79	87,55	84,25
Lisina	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Metionina	43,75	40,28	40,78	44,16	45,25	44,58	43,22
Metionina+Cistina	62,50	86,81	63,13	63,45	76,92	62,65	58,97
Treonina	68,75	79,17	67,04	67,01	72,40	64,66	66,67
Triptofano	18,75	20,14	19,55	19,80	16,29	18,07	16,85
Valina	93,75	102,78	90,50	90,86	95,48	87,55	86,81

2.5 Avaliação de desempenho e composição corporal

Para a análise do desempenho, foram avaliados o peso médio final (PMF), ganho de peso diário (GPD), conversão alimentar aparente (CA), consumo de ração (CR), consumo de lisina por quilo de ganho de peso metabólico (CLM), consumo diário de lisina por peixe (CLD), eficiência de retenção de proteína (ERP) e sobrevivência (SOB). Para o cálculo do CLM, como não há estabelecido um coeficiente escalar para a tilápia do Nilo, o coeficiente de 0,7 foi utilizado para padronizar os dados de consumo, obtendo-se o peso metabólico ($\text{kg}^{0,7}$), e já tendo sido utilizado em diversos trabalhos com peixes (Lupatsch e Kissil, 1998; Lupatsch et al., 1998, 2001), inclusive com a tilápia do Nilo (He et al., 2013).

Ao final do período experimental, um peixe por unidade experimental foi destinado a determinação da composição corporal. Foram avaliados os conteúdos de umidade (g kg^{-1}), proteína bruta (g kg^{-1}), extrato etéreo (g kg^{-1}) e cinzas (g kg^{-1}). Os animais foram eutanasiados por sobredose anestésica (solução de eugenol, 180 mg l^{-1}) e armazenados em freezer à -18°C . Posteriormente os peixes foram cortados em pedaços de aproximadamente 1 cm de espessura, congelados à -40°C e liofilizados por 72 horas, para a completa eliminação da umidade das amostras. Após a liofilização as amostras foram desintegradas em um processador de alimentos e em seguida em um moinho de facas com peneira de 1,0 mm. As amostras de carcaça foram submetidas às análises de matéria seca, proteína bruta, extrato etéreo e cinzas, de acordo com as metodologias descritas pela AOAC (2005).

$$\text{PMF} = \text{biomassa final} / \text{número final de peixes}$$

$$\text{GPD} = (\text{peso médio final} - \text{peso médio inicial}) / \text{número de dias}$$

$$\text{CA} = (\text{quantidade de ração fornecida} - \text{sobras de ração}) / (\text{biomassa final} - \text{biomassa inicial})$$

$$\text{CR} = (\text{quantidade de ração fornecida até 28 dias} - \text{sobras de ração}) / \text{número de peixes}$$

$$\text{CLM} = [(\text{quantidade de ração fornecida} - \text{sobras de ração}) \times \text{nível de lisina}] / \text{ganho de peso por caixa}^{0,7}$$

$$\text{CLD} = \{[(\text{quantidade de ração fornecida} - \text{sobras de ração}) \times \text{nível de lisina}] / \text{número de peixes}\} / \text{número de dias}$$

$$\text{ERP} = [(\text{proteína bruta final} \times \text{peso final}) - (\text{proteína bruta inicial} \times \text{peso inicial})] / \text{proteína bruta consumida} \times 100$$

$$\text{SOB} = 100 \times [(\text{número de peixes aos 28 dias} / \text{número inicial de peixes}) \times (\text{número de peixes aos 42 dias} / \text{número de peixes aos 29 dias}) \times (\text{número de peixes aos 56 dias} / \text{número de peixes aos 43 dias})]$$

2.6 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos a verificação dos pressupostos da ANOVA. Assim, os resíduos gerados foram submetidos às análises de normalidade e homocedasticidade pelos testes de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente. As pressuposições não foram atendidas para sobrevivência, consumo de ração e para os teores corporais de umidade e de proteína bruta. Para os demais, que tiveram as pressuposições atendidas, esses foram submetidos à análise de variância de acordo com o modelo estatístico: $y_i = b_0 + b_1x_i + b_2z_j + b_3w_t + \epsilon_{ij}$, onde y_i é o valor observado para a variável estudada, b_0 é o efeito da média geral, b_1x_i é o efeito do i -ésimo nível

de lisina da ração, b_{2z} é o efeito da j -ésima estratégia de formulação, b_{3w_t} é o efeito do bloco e ϵ_{ij} é o erro experimental.

Após a análise de variância, para as variáveis em que foram identificados os efeitos dos níveis de lisina, procedeu-se com o estudo de regressão. Considerou-se o nível de lisina da ração como variável independente e a estratégia de formulação como variável explicativa categórica, assumindo valor zero ($z=0$) para a estratégia de formulação pela "Técnica da suplementação dos aminoácidos" e valor um ($z=1$) para a estratégia de formulação pela "Técnica da suplementação de aminoácidos com o uso do conceito da proteína ideal", considerando o modelo linear. Sobrevivência, consumo de ração, teor de umidade e teor proteína bruta foram analisadas através do teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, complementado com o teste de comparação múltipla de Dunn, quando aplicável. Para a variável em que foi identificado o efeito dos níveis de lisina e da técnica de formulação utilizada, as curvas resposta produzidas pelas duas estratégias de formulação foram comparadas através do teste de paralelismo, conforme modelo adaptado de Kaps e Lamberson (2004). Utilizou-se como variável classificatória, a técnica de formulação (Form) e como co-variável, o nível de lisina na dieta (Lys), sendo o modelo $y_{ij}=b_0+Form_i+b_1x_{ij}+\sum_i b_{2i}(Form*x)_{ij}+\epsilon_{ij}$, onde y_{ij} é o valor da variável correspondente à observação j da técnica i ; b_0 , b_1 e b_2 são os parâmetros da regressão; $Form_i$ é o efeito da técnica de formulação; x_{ij} é o valor da variável independente contínua para a observação j na técnica i ; $(Form*x)_{ij}$ é o efeito da interação entre a variável classificatória e a co-variável; e ϵ_{ij} é o erro aleatório. As análises foram realizadas com o uso do software R (R Core Team, 2016), considerando um nível de significância de 5%.

3. Resultados

A distribuição inicial dos animais foi homogênea, tanto nos tratamentos, quanto nos blocos, uma vez que não houve diferenças para o PMI (Tabela 6). Não foi identificado o efeito da interação Lisina x Técnica para nenhuma das variáveis de desempenho ($P > 0,05$), o que nos mostra que as respostas para essas variáveis foram similares quanto aos níveis de lisina, independente da técnica de formulação utilizada. O PMF, GPD, CA e ERP não foram afetados pelo nível de lisina e nem pela técnica de formulação ($P > 0,05$). Os dados de desempenho, CR e SOB, não atenderam as pressuposições para a análise de variância, tendo sido analisados pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis. A técnica de formulação e o bloco não afetaram o CR ($P > 0,05$), mas o nível de lisina influenciou o CR dos peixes ($P < 0,05$) (Tabela 6). Os peixes alimentados com a dieta com 2,46% de lisina apresentaram maior consumo que os peixes que receberam 1,50; 1,74 e 2,22% de lisina, e similar aos peixes alimentados com 1,98 e 2,70% de

lisina. O nível de lisina e a técnica de formulação não afetaram a SOB ($P > 0,05$), contudo o bloco exerceu influência sobre a mesma ($P < 0,05$).

O CLM dos peixes foi afetado pelo nível de lisina e pela técnica de formulação ($P < 0,05$), como pode ser visualizado na Tabela 6. Com o aumento nos níveis de lisina das dietas, os peixes responderam linearmente e de forma crescente para o CLM (Tabela 6). Ao avaliar os parâmetros das retas produzidas por cada técnica de formulação, β_0 e β_1 , foram identificadas diferenças tanto para as constantes (β_0), quanto para os coeficientes angulares (β_1). Assim, além da variação na amplitude, as respostas de CLM variavam em função da técnica de formulação das dietas (Figura 1), indicando que os peixes alimentados com dietas formuladas com o uso da técnica SPI consumiram menor quantidade de lisina para cada quilo de ganho de peso metabólico, quando comparados com os peixes que receberam dietas formuladas através da técnica SUP (Tabela 6, Figura 1). Já o CLD sofreu influência apenas dos níveis de lisina ($P < 0,05$), apresentando os peixes comportamento linear e crescente à medida que se aumentou os níveis de lisina nas dietas (Tabela 6).

Os resultados da análise de composição corporal são apresentados na Tabela 7. Umidade e proteína bruta foram analisados pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, não sendo afetados pelos níveis de lisina, técnica de formulação e nem bloco experimental ($P > 0,05$). Extrato etéreo e cinzas apresentaram CV de 3,14 e 6,58%, respectivamente, e não foram influenciados pela técnica de formulação, níveis de lisina, interação Lisina x Técnica e nem pelo bloco experimental ($P > 0,05$).

Tabela 6. Peso médio inicial (PMI), peso médio final (PMF), ganho de peso diário (GPD), conversão alimentar (CA), consumo de ração (CR), consumo de lisina por quilo de ganho de peso metabólico (CLM), consumo diário de lisina por peixe (CLD), eficiência de retenção de proteína (ERP) e sobrevivência (SOB) de juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) recebendo dietas com distintos níveis de lisina e formuladas por duas diferentes estratégias.

Variável	Técnica de formulação	Níveis de lisina (%)						Média geral	Bloco 1	Bloco 2	CV (%) ^a	Valor de P			
		1,50	1,74	1,98	2,22	2,46	2,70					Lisina	Técnica	Lisina x Técnica	Bloco
PMI (g)	SUP	20,56	20,83	20,92	20,85	20,73	21,00	20,82							
	SPI	21,48	20,94	20,40	20,77	20,90	21,04	20,92	21,23	20,50	2,50	0,7179	0,4938	0,1839	0,6812
	Geral	21,02	20,89	20,66	20,81	20,81	21,02								
PMF (g) ^e	SUP	149,96	179,62	157,38	173,12	158,47	154,88	162,24	178,71 A	146,65 B	13,52	0,7754	0,8905	0,2040	<0,0001
	SPI	157,17	146,71	172,01	165,79	160,83	176,19	163,12							
	Geral	153,56	163,17	164,70	169,46	159,65	165,53								
GPD (g dia ⁻¹) ^e	SUP	2,31	2,84	2,44	2,72	2,46	2,39	2,53							
	SPI	2,42	2,25	2,71	2,59	2,50	2,77	2,54	2,81 A	2,25 B	15,41	0,7625	0,9032	0,1962	<0,0001
	Geral	2,37	2,54	2,57	2,65	2,48	2,58								
CA ^e	SUP	1,26	1,20	1,25	1,26	1,26	1,33	1,26							
	SPI	1,28	1,27	1,21	1,23	1,26	1,25	1,25	1,19 B	1,32 A	7,19	0,7106	0,7443	0,7025	<0,0001
	Geral	1,27	1,23	1,23	1,24	1,26	1,29								
CR (g peixe ⁻¹) ^d	SUP	132,33	149,88	153,67	147,96	179,81	160,32	150,96							
	SPI	136,77	143,35	184,59	145,38	183,54	160,88	153,92	154,88	150,54	-	0,0026	0,7887	-	0,9671
	Geral	135,38	149,88	162,64	145,59	179,81 c	160,32								
	a	ab	bc	ab		bc									

Tabela 6. *Continuação...*

Variável	Técnica de formulação	Níveis de lisina (%)						Geral	Bloco 1	Bloco 2	CV (%) ^a	Valor de P			
		1,50	1,74	1,98	2,22	2,46	2,70					Lisina	Técnica	Lisina x Técnica	Bloco
CLM (mg kg ^{-0,7}) ^{bc (1)}	SUP	359,30	466,43	474,72	562,41	580,43	719,16	527,07 a	509,37 B	524,36 A	4,69	<0,000 ₁	0,0061	0,1556	0,0393
	SPI	353,84	423,32	464,43	533,97	591,20	673,20	506,66 b							
	Geral	356,57	444,87	469,57	548,19	585,81	696,18								
CLD (mg peixe ⁻¹ dia ⁻¹) ⁽²⁾	SUP	35,02	51,74	55,19	60,02	78,84	87,66	61,41	59,28	65,14	19,85	<0,000 ₁	0,6564	0,5335	0,1089
	SPI	36,23	56,78	67,78	57,45	83,21	76,59	63,01							
	Geral	35,62	54,26	61,49	58,74	81,03	82,13								
ERP (%) ^c	SUP	43,50	51,44	45,24	47,40	38,50	37,67	43,96	49,89 A	35,95 B	17,72	0,2911	0,3507	0,1069	<0,0001
	SPI	42,74	36,65	40,08	47,94	38,13	45,75	41,88							
	Geral	43,12	44,05	42,66	47,67	38,31	41,71								
SOB (%) ^c	SUP	100,00	100,00	87,50	100,00	72,22	87,50	100,00	100,00 A	88,89 B	-	0,1683	0,5991	-	0,0023
	SPI	100,00	94,44	75,62	100,00	75,00	100,00	100,00							
	Geral	100,00	100,00	83,33	100,00	72,22	95,83								

^a Coeficiente de variação;

^b Letras minúsculas diferentes na coluna para média geral por estratégia de formulação, diferem entre si pelo teste F (P < 0,05);

^c Letras maiúsculas na linha por bloco, diferem entre si pelo Teste de Kruskal-Wallis (P < 0,05); Mediana;

^d Letras minúsculas diferentes na linha para média por nível de lisina, diferem entre si pelo Teste de Kruskal-Wallis (P < 0,05), complementado com o teste de Dunn (P < 0,05); Mediana;

^e Letras maiúsculas na linha por bloco, diferem entre si pelo teste F (P < 0,05);

SUP: Técnica da suplementação de aminoácidos; SPI: Técnica da suplementação de aminoácidos com o uso do conceito da proteína ideal.

Modelos:

$$^{(1)}\text{CLM (mg kg}^{-0,7}\text{)} = -30,17 + 265,35*\text{Lys} - 5,67*\text{Form} - 7,02*\text{Lys}*\text{Form (R}^2 = 0,9229)$$

$$^{(2)}\text{CLD (mg peixe}^{-1}\text{ dia}^{-1}\text{)} = -15,31 + 36,91*\text{Lys (R}^2 = 0,5791)$$

Onde:

Lys = nível de lisina;

Form = estratégia de formulação (assume valor zero [0] para SUP e valor um [1] para SPI).

Tabela 7. Composição corporal (umidade, proteína bruta, extrato etéreo e cinzas, em g kg⁻¹) de juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) recebendo dietas com distintos níveis de lisina e formuladas com duas estratégias diferentes.

Variável	Técnica de formulação	Níveis de lisina (%)						Geral	Bloco 1	Bloco 2	CV (%) ^a	Valor de P			
		1,50	1,74	1,98	2,22	2,46	2,70					Lisina	Técnica	Lisina x Técnica	Bloco
Umidade ^b	SUP	709,08	695,71	705,38	718,01	701,76	724,58	709,08							
	SPI	715,65	726,55	687,36	709,99	719,80	714,81	715,76	715,66	710,46		0,3337	0,1489		0,6650
	Geral	709,08	710,20	692,10	712,32	713,27	719,67								
Proteína bruta ^b	SUP	139,00	148,24	148,16	139,47	149,11	144,56	147,13							
	SPI	136,04	140,38	148,53	146,44	143,13	141,72	142,70	145,04	143,09		0,1636	0,1432		0,3535
	Geral	136,97	141,91	148,16	143,26	147,26	143,69								
Extrato etéreo	SUP	100,75	103,39	98,13	100,96	103,08	97,82	100,69							
	SPI	102,00	98,49	97,69	95,46	95,09	90,68	96,57	96,31	100,94	3,14	0,9452	0,3439	0,9764	0,3353
	Geral	101,38	100,94	97,91	98,21	99,09	94,25								
Cinzas	SUP	37,76	34,76	36,67	35,24	37,19	36,64	36,38							
	SPI	35,64	36,01	33,32	34,17	35,07	37,45	35,28	36,56	35,10	6,58	0,2900	0,1151	0,3411	0,0866
	Geral	36,70	35,39	34,99	34,71	36,13	37,05								

Composição inicial (g kg⁻¹): Umidade: 624,79; Proteína bruta: 190,43; Extrato etéreo: 72,38; Cinzas: 37,19.

^a Coeficiente de variação;

^b Teste de Kruskal-Wallis (P < 0,05); Mediana;

SUP: Técnica da suplementação de aminoácidos; SPI: Técnica da suplementação de aminoácidos com o uso do conceito da proteína ideal.

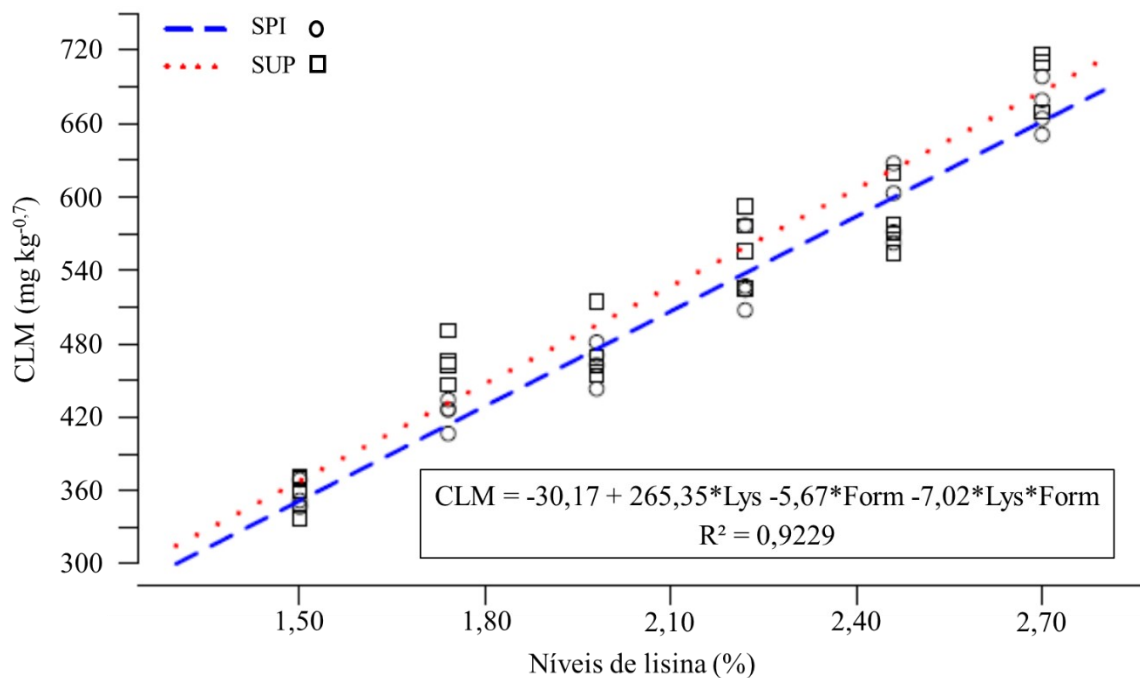


Figura 1. Consumo de lisina por quilo de ganho de peso metabólico (CLM, mg kg^{-0,7}) em função de distintos níveis de lisina nas dietas formuladas por duas técnicas de formulação para juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Lys: nível de lisina; Form: estratégia de formulação (assume valor zero [0] para a SUP e valor um [1] para SPI). SUP: Técnica da suplementação de aminoácidos; SPI: Técnica da suplementação de aminoácidos com o uso do conceito da proteína ideal.

4. Discussão

O presente trabalho foi conduzido para verificar o efeito de duas estratégias de formulação das dietas em estudos de determinação das necessidades de lisina, para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Os resultados nos mostram que as respostas dos peixes foram de maneira constante quanto ao PMF, GPD, CA e ERP em relação aos diferentes níveis de lisina e às técnicas de formulação, indicando que, para a fase de cultivo avaliada, 20 a 160 gramas de peso vivo, os níveis de lisina nas dietas podem ter sido superestimados. Ao se avaliar os resultados obtidos em alguns trabalhos, verifica-se que as necessidades de lisina na dieta para tilápia sejam próximas ao menor nível avaliado neste trabalho (NRC, 1993, 2011; Furuya et al., 2004, 2006, 2013; Furuya, 2010). Essa situação, sugere que os níveis de lisina avaliados no presente estudo se encontram entre o início e o decorrer da fase estável da curva de resposta dos peixes à adição de um nutriente essencial (Sakomura e Rostagno, 2007).

Embora possivelmente os níveis de lisina possam ter sido elevados para propiciar uma curva de resposta que pudesse ser explicada por uma função linear ou curvilínea, alguns relatos na literatura sugerem que, os níveis de lisina na dieta para a tilápia do Nilo são, nas fases iniciais de cultivo, um pouco mais elevados que os normalmente sugeridos. Avaliando dietas com níveis crescentes de lisina entre 1,13 e 2,02% para tilápia do Nilo de 6,4 a 43,0 gramas, com a suplementação de lisina através de aminoácidos sintéticos ou como uso de ingredientes com elevada concentração de lisina, Nguyen e Davis (2016) verificaram que os peixes tiveram uma resposta linear e crescente ao aumento da concentração de lisina na dieta, tanto para ganho de peso, quanto para a retenção de proteína. Ainda, esses autores observaram que não houve efeito da fonte de lisina utilizada, o que demonstra a eficácia do uso de aminoácidos sintéticos em dietas práticas para peixes.

Acerca de trabalhos em que níveis crescentes de lisina não resultaram em reduções no crescimento a partir de determinado nível, Bomfim et al. (2010) também verificaram que as respostas de crescimento de alevinos de tilápia do Nilo foram lineares e crescentes aos níveis de lisina na dieta, formuladas com o uso do conceito da proteína ideal. Esses autores observaram que peixes de 1,12 a 13,70 gramas de peso vivo apresentaram melhor resposta ao nível de 1,80% de lisina, maior nível de lisina avaliado. As respostas lineares obtidas por esses autores sugerem a inclusão de níveis mais elevados nos estudos em que são avaliadas as respostas de crescimento da tilápia às dietas com níveis crescentes de lisina, o que foi realizado no presente estudo, embora o resultado obtido não tenha sido crescente até determinado nível, e sim, similar nos diferentes níveis de lisina. Em fase equivalente à avaliada por Bomfim et al. (2010) e também com o uso de dietas formuladas aplicando o conceito da proteína ideal, Takishita et al. (2009) avaliaram níveis de lisina total entre 1,65 e 2,45% para alevinos de tilápia do Nilo entre 0,98 e 11,80 gramas. Os autores verificaram que o nível de lisina estimado em 2,32% propiciou os melhores resultados de desempenho, como ganho de peso, taxa de crescimento específico e consumo de ração. A partir desse nível, os autores verificaram estabilização das respostas avaliadas. Não obstante, Ovie e Eze (2013) estimaram em 2,49% (7,12g de lisina para cada 100,00 gramas de proteína bruta) a necessidade de lisina para tilápia do Nilo de 10,00 a 17,50 gramas, corroborando com o aumento nas necessidades de lisina em algumas fases do cultivo da tilápia do Nilo.

Apesar da resposta constante dos peixes para variáveis como GPD e CA submetidos aos diferentes tratamentos, verifica-se que os resultados médios obtidos neste estudo para essas variáveis são superiores aos encontrados em outros trabalhos com a tilápia do Nilo. Verificamos que os peixes do presente estudo ganharam em média 2,53 g por dia e tiveram CA de 1,26,

valores superiores aos apresentados por Furuya et al. (2004), que relataram ganho de peso diário de 1,56 g e CA de 1,31 para tilápias de 117,9 a 195,9 gramas, em que a estimativa da necessidade de lisina foi de 1,42%. Já Furuya et al. (2013) observaram ganho de peso de 1,42 g por dia e conversão alimentar de 1,56 para peixes de 87,0 a 226,0 g. Os resultados de GPD apresentado pelos animais do presente estudo também são superiores aos valores obtidos em diversos trabalhos com lisina para a tilápia do Nilo. A maioria desses estudos tem apresentado resultados de ganho de peso diário entre 0,16 e 1,40 g para peixes com peso entre 5,72 e 233,25 g (Furuya et al., 2006; Ovie e Eze, 2013; Diógenes et al., 2016; Nguyen e Davis, 2016; Nascimento et al., 2020), reforçando a hipótese de que possivelmente fossem necessárias dietas com concentrações menores de lisina no presente estudo.

O CR foi afetado pelo nível de lisina na dieta. O pós-teste de Dunn indicou algumas diferenças entre os grupos, porém não foi possível verificar alguma tendência que tenha sido apresentada em relação aos níveis de lisina das dietas ($P < 0,05$). Já o CLD foi linear ($CLD = -15,31 + 36,91 * Lys$; $R^2 = 0,5791$), ou seja, a medida em que se aumentou os níveis de lisina nas dietas, maior foi o consumo diário de lisina pelos peixes, apesar de terem sido verificadas diferenças quanto ao CR, que poderiam influenciar o CLD.

As dietas formuladas pela técnica da suplementação de aminoácidos com o uso do conceito da proteína ideal proporcionaram um menor CLM, respondendo os peixes linear e crescentemente aos aumentos nos níveis de lisina nas dietas. O modelo $CLM = -30,17 + 265,35 * Lys - 5,67 * Form - 7,02 * Lys * Form$ ($R^2 = 0,9229$) foi ajustado aos dados e ao avaliar os coeficientes dos modelos para cada técnica de formulação, se confirmou o resultado obtido na análise de variância, de que ao se formular dietas com o uso da SPI, houve menor consumo de lisina para cada quilo de ganho de peso metabólico. O consumo crescente de lisina era esperado, devido ao seu incremento nas dietas. Apesar de não ter sido verificadas alterações no desempenho, verificou-se que as dietas SPI, que apresentam o balanceamento de aminoácidos mais adequado aos peixes, proporcionaram a redução do CLM em relação as dietas formuladas com o uso da técnica SUP.

Observou-se que os peixes não diferiram quanto a composição corporal em relação à técnica de formulação, nível de lisina ou bloco experimental. Embora alguns autores associam o aumento do conteúdo de proteína corporal em peixes à elevação nos níveis de lisina das dietas (Encarnação et al., 2006; Takishita et al., 2009; Bomfim et al., 2010), nem sempre são observadas mudanças na composição corporal, como no presente estudo e também verificado por Michelato et al. (2016).

Embora o objetivo principal do presente estudo tenha sido avaliar os feitos de duas técnicas de formulação das dietas em estudos de determinação das necessidades de lisina para a tilápia do Nilo, os peixes responderam de maneira similar aos distintos níveis de lisina nas dietas. Assim, conclui-se que há um menor consumo de lisina por quilo de ganho de peso metabólico quando as dietas são formuladas com o uso do conceito da proteína ideal, sendo o consumo crescente em relação aos níveis de lisina nas dietas. A estabilização das respostas de desempenho, com bons resultados para ganho de peso e conversão alimentar desde o menor nível de lisina nas dietas, indica que dietas formuladas pelas diferentes estratégias e com concentrações menores de lisina sejam avaliadas.

Agradecimentos

O projeto recebeu apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais – FAPEMIG (processo APQ - 03788-16). A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) apoiaram o trabalho realizado.

Referências bibliográficas

Abboudi, T., Ooghe, W., M., Larondelle, Y., Rollin, X., 2007. Determination of the threonine requirement for maintenance in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fry with the diet dilution procedure. *Aquac. Nutr.*, 13, 281–290.

Abboudi, T., Mambrini, M., Ooghe, W., Larondelle, Y., Rollin, X., 2006. Protein and lysine requirements for maintenance and for tissue accretion in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fry. *Aquaculture*, 261, 369–383. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.07.041>

AOAC, 2005. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 18th. ed. AOAC.

Bomfim, M.A.D., Lanna, E.T.A., Donzele, J.L.D., Quadros, M., Ribeiro, F.B., Sousa, M.P., 2010. Níveis de lisina com base no conceito de proteína ideal em rações para alevinos de tilápia-do-Nilo. *R. Bras. Zootec.*, 39, 1-8. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000100001>

Bureau, D.P., Encarnação, P.M., 2006. Adequately defining the amino acid requirements of fish: the case example of lysine. In: *SIMPOSIUM INTERNACIONAL DE NUTRICIÓN ACUÍCOLA: AVANCES EN NUTRICIÓN ACUÍCOLA*, 8., Monterrey. Anais... Monterrey, 29-54.

- Cao, J.M., Chen, Y., Zhu, X., Huang, Y.H., Zhao, H.X., Li, G.L., Lan, H.B., Chen, B., & Pan, Q., 2012. A study on dietary l-lysine requirement of juvenile yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco*. *Aquaculture Nutrition*, 18, 35-45. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2011.00874.x>
- Cowey, C.B., Cho, C.Y., 1993. Nutritional requirements of fish. *Proc. Nutr. Soc.*, 52, 417–426.
- Diógenes, A. F., Fernandes, J. B. K., Dorigam, J. C. P., Sakomura, N. K., Rodrigues, F. H. F., Lima, B. T. M., Gonçalves, F. H., 2016. Establishing the optimal essential amino acid ratios in juveniles of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by the deletion method. *Aquacult. Nutr.*, 22, 435-443. <https://doi.org/10.1111/anu.12262>
- D'Mello, J.P.F., 1982. A comparison of two empirical methods of determining amino acids requirements. *World's Poultry Science Journal*, 38, p.114-119.
- D'Mello, J.P.F., 2003. *Amino acids in animal nutrition*. 2nd ed. Wallingford: CABI Publishing, 546p.
- Encarnação, P., Lange, C., Bureau, D.P., 2006. Diet energy source affects lysine utilization for protein deposition in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 261, 1371–1381.
- Fagbenro, O. A.; Balogun, A. M.; Fasakin, E. A., 1998. Dietary lysine requirement of the African catfish, *Clarias gariepinus*. *J. Appl. Aquac.*, 8, 71-77.
- Fisher, C., Morris, T. R., 1970. The determination of the methionine requirement of laying pullets by a diet dilution technique. *British Poultry Science* 11, 67–82.
- Forster, I., Ogata, Y., 1998. Lysine requirement of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* and juvenile red sea bream *Pagrus major*. *Aquaculture*, 161, 131-142.
- Furuya, W. M., 2010. *Tabelas brasileiras para a nutrição de tilápias*, GFM, Toledo.
- Furuya, W.M., Botaro, D., Neves, P.R., Silva, L.C.R., Hayashi, C., 2004. Exigência de lisina pela Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), na fase de terminação. *Cienc. Rural* 34, 1571–1577.
- Furuya, W.M., Botaro, D., Macedo, R.M.G., Santos, V.G., Silva, L.C.R., Silva, T.C., Furuya, V.R.B., Sales, P.J.P., 2005. Aplicação do Conceito de Proteína Ideal para Redução dos Níveis de Proteína em Dietas para Tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). *R. Bras. Zootec.*, 34, 1433-1441.

- Furuya, W.M., Botaro, D., Santos, V.G., 2006. Exigência de lisina digestível para juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). R. Bras. Zootec., 34, 1933–1937. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982006000400001>
- Furuya, W.M., Michelato, M, Graciano, T.S., Vidal, L.V.O., Xavier, T.O., Furuya, V.R.B, Moura, L.B., 2013. Exigência de lisina digestível para a tilápia-do-Nilo de 87 a 226 g alimentada com dietas balanceadas para a relação arginina:lisina. Semina: Ciênc. Agrár., 34, n. 4, p. 1945-1954. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n4p1945>
- Gatrell, S.K., Silverstein, J.T., Barrows, F.T., Grimmett, J.G., Cleveland, B.M., Blemings, K.P., 2017. Effect of dietary lysine and genetics on growth and indices of lysine catabolism in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquac. Nutr., 23, 917-925. <https://doi.org/10.1111/anu.12459>
- Gous, R.M., 1980. An improved method for measuring the response of broiler chickens to increasing dietary concentrations of an amino acid. In: *Proceedings of the Sixth European Poultry Conference* (WPSA ed.), Vol. 3, pp. 32–39. World’s Poultry Science Association, Hamburg, Germany.
- Gous, R.M., Morris, T.R., 1985. Evaluation of a diet dilution technique for measuring the response of broiler chickens to increasing concentrations of lysine. Br. Poult. Sci., 26, 147–161.
- Hauler, R.C., Carter, C.G., 2001. Reevaluation of the quantitative dietary lysine requirements of fish. Rev. Fish. Sci., 9, 133–163. <https://doi.org/10.1080/20016491101735>
- He, J. Y., Tian, L. X., Lemme, A., Gao, W., Yang, H. J., Niu, J., Liang, G., Y., Chen, P. F., Liu, Y. J., 2013. Methionine and lysine requirements for maintenance and efficiency of utilization for growth of two sizes of tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquac. Nutr., 19; 629–640. <https://doi.org/10.1111/anu.12012>
- Hua, K., Suwendi, E., Bureau, D.P., 2019. Effect of body weight on lysine utilization efficiency in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquaculture, 505, 47-53. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.02.030>
- Kaps, M.; Lamberson, W.R., 2004. Biostatistics for animal science. Wallingford: CABI Publishing.
- Kubitza, F., 2003. Qualidade da Água no Cultivo de Peixes e Camarões. Jundiaí – SP, 265p.

- Lee, S., Small, B.C., Patro, B., Overturf, K., Hardy, R.W., 2020. The dietary lysine requirement for optimum protein retention differs with rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) strain. *Aquaculture*, 514, 734483. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734483>
- Liebert, F., 2009. Amino acid requirement studies in *Oreochromis niloticus* with application of principles of the diet dilution technique. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 93, 787–793.
- Liebert, F., Benkendorff, K., 2007. Modeling lysine requirements of *Oreochromis niloticus* due to principles of the diet dilution technique. *Aquaculture*, 267, 100-101.
- Li, P., Mai, K., Trushenski, J., & Wu, G., 2009. New developments in fish amino acid nutrition: towards functional and environmentally oriented aquafeeds. *Amino Acids*, 37, 43-53. <https://doi.org/10.1007/s00726-008-0171-1>
- Lupatsch, I., Kissil, G.W., 1998. Predicting aquaculture waste from gilthead seabream *Sparus aurata* culture using a nutritional approach. *Aquat. Living Resour.*, 11, 265–268.
- Lupatsch, I., Kissil, G.W., Sklan, D., Pfeffer, E., 1998. Energy and protein requirements for maintenance and growth in gilthead seabream *Sparus aurata* L. *Aquacult. Nutr.*, 4, 165–173. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2095.1998.00065.x>
- Lupatsch, I., Kissil, G.W., Sklan, D., Pfeffer, E., 2001. Effects of varying dietary protein and energy supply on growth, body composition and protein utilization in gilthead seabream *Sparus aurata* L. *Aquacult. Nutr.*, 7, 71–80. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2095.2001.00150.x>
- Michelato, M., Vidal, L.V.O., Xavier, T.O., Moura, L.B., Almeida, F.L.A., Pedrosa, V.B., Furuya, V.R.B., Furuya, W.M., 2016. Dietary lysine requirement to enhance muscle development and fillet yield of finishing Nile tilapia. *Aquaculture*, 457, 124–130. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.02.022>
- Morris, T.R., Al-Azzawi, K., Gous, R.M., Jackson, G.L., 1987. Effects of protein concentration on responses to dietary lysine by chicks. *Br. Poult. Sci.*, 33, 185–195.
- Nascimento, T.M.T., Mansano, C.F.M., Peres, H., Rodrigues, F.H.F., Khan, K.U., Romaneli, R.S., Sakomura, N.K., Fernandes, J.B.K., 2020. Determination of the optimum dietary essential amino acid profile for growing phase of Nile tilapia by deletion method. *Aquaculture*, 523. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735204>
- Nguyen, L., Davis, D.A., 2016. Comparison of crystalline lysine and intact lysine used as a supplement in practical diets of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) and Nile tilapia

(*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 464, 331-339.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.07.005>

NRC - National Research Council, 1993. *Nutrient Requirements of Fish*. National Academy Press, Washington D.C., USA.

NRC - National Research Council, 2011. *Nutrient Requirements of Fish and Shrimp*. National Academy Press, Washington, DC., USA.

Ovie, S.O., Eze, S.S., 2013. Lysine Requirement and its Effect on the Body Composition of *Oreochromis niloticus* Fingerlings. *J. Fish Aquat. Sci.*, 8, 94-100.

R Core Team, 2016. *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. URL <https://www.R-project.org/>

Sakomura, N.K., Rostagno, H.S., 2007. *Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos*. Jaboticabal: Funep, 283p.

Santiago, C.B., Lovell, R.T., 1988. Amino acids requirement for growth of Nile tilapia. *Nutrition*, 118, 1540–1546. <https://doi.org/10.1093/jn/118.12.1540>

Takishita, S.S., Lanna, E. A.T., Donzele, J.L., Bomfim, M.A.D., Quadros, M., Sousa, M.P., 2009. Níveis de lisina digestível em rações para alevinos de tilápia-do-nilo. *R. Bras. Zootec.*, 38, 2099-2105. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009001100004>

Walton, M.J., Cowey, C.B., Adron, J.W., 1984. The effect of dietary lysine levels on growth and metabolism of rainbow trout. *Br. J. Nutr.* 52, 115-122.

Wilson, R.P., Poe, W.E., 1985. The relationship of whole body and egg essential amino acid patterns to amino acid requirement patterns in channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Comp. Biochem. Physiol.*, 80B, 373–376.

Declaração de interesse

Os autores manifestam que não existem relacionamentos pessoais ou interesses financeiros concorrentes que possam afetar o trabalho relatado neste artigo.

Declaração de relevância

O presente estudo demonstra que o consumo de lisina por unidade de ganho de peso metabólico é menor quando se utiliza o conceito da proteína ideal na formulação das dietas para tilápia do Nilo.

Destaques do manuscrito

- 1 - Há menor consumo de lisina por unidade de ganho de peso metabólico com o uso do conceito da proteína ideal na formulação das dietas.
- 2 - As respostas de desempenho sugerem que a necessidade de lisina na dieta para juvenis de tilápia do Nilo está abaixo de 1,50% de lisina na dieta.
- 3 – Juvenis de tilápia do Nilo respondem de maneira semelhante em relação aos níveis de lisina nas dietas, entre 1,50 e 2,70%, independente da estratégia de formulação adotada.

Contribuição dos autores

Gabriel Francisco de Oliveira Alves (gfoalves@zootecnista.com.br) - desenho experimental, coleta, análise e interpretação dos dados, preparação do artigo

Giovanna Viana Ribeiro (ribeirogiovanna071@gmail.com) - coleta dos dados e preparação do artigo

Lara Quintanilha Goulart (laraqgoulartt@gmail.com) - coleta dos dados e preparação do artigo

Stéphanie Cristine Pereira Assunção (tetecristine1071@gmail.com) - coleta dos dados e preparação do artigo

Stefani Grace da Silva Moraes (stefani.gracesilva@gmail.com) - coleta dos dados e preparação do artigo

Ludson Guimarães Manduca (ludson.manduca@gmail.com) - coleta dos dados e preparação do artigo

Francisco Carlos de Oliveira Silva (fcosilva@epamig.br) - coleta dos dados e preparação do artigo

Érika Ramos de Alvarenga (erika.ralvarenga@gmail.com) - coleta e interpretação dos dados e preparação do artigo

Eduardo Maldonado Turra (eduardoturra@yahoo.com.br) - coleta e interpretação dos dados e preparação do artigo

Edgar de Alencar Teixeira (edgarvet@hotmail.com) - desenho experimental, interpretação dos dados e preparação do artigo

- CAPÍTULO 3 -
Experimento II

Respostas ao uso de dietas com níveis de lisina na produção de tilápia do Nilo com diferentes taxas de crescimento de 1 a 56 dias de idade

Artigo formatado conforme as normas da revista Aquaculture, ainda em português.

Título:

Respostas ao uso de dietas com níveis de lisina na produção de tilápia do Nilo com diferentes taxas de crescimento de 1 a 56 dias de idade

Gabriel Francisco de Oliveira Alves⁽¹⁾, Lara Quintanilha Goulart⁽¹⁾, Giovanna Viana Ribeiro⁽¹⁾, André de Sena Souza⁽¹⁾, Stéphanie Cristine Pereira Assunção⁽¹⁾, Ludson Guimarães Manduca⁽¹⁾, Stefani Grace da Silva Moraes⁽¹⁾, Érika Ramos de Alvarenga⁽¹⁾, Eduardo Maldonado Turra⁽¹⁾, Edgar de Alencar Teixeira^{(1)*}

(1) Laboratório de Aquacultura (LAQUA). Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Antônio Carlos, nº 6627. Caixa Postal 567. Campus da UFMG. CEP 30123-970. Belo Horizonte, MG – Brasil.

* Autor correspondente

Telefone: +55 31 3409 2190

E-mail: edgarvet@hotmail.com (Teixeira, E.A.)

Resumo

A tilápia do Nilo apresenta grande expressividade na produção aquícola mundial, conseqüentemente, a busca por animais com maior potencial de crescimento, através da seleção, tem sido constante em programas de melhoramento genético. O conhecimento das exigências nutricionais e a adequação das dietas são fundamentais para produção de alimentos que permitam aos animais, com maior velocidade de crescimento, expressarem todo o seu potencial. Levando em consideração a importância da lisina para a deposição de proteínas corporais, este estudo avaliou as respostas de crescimento e sobrevivência de pós-larvas de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) de duas gerações de um programa de melhoramento genético, sendo uma de crescimento rápido (G5) e outra de crescimento lento (G0), recebendo dietas com diferentes níveis de lisina (1,43; 1,80; 2,02; 2,42 e 2,68%). O estudo foi dividido em duas etapas sequenciais, sendo a primeira de um a 28 dias e, a segunda, do 29º ao 56º dia de idade, ambas em sistema de recirculação de água. A sobrevivência foi similar entre G0 e G5 ($P > 0,05$). Quando avaliada em função dos níveis de lisina, pós-larvas que receberam dieta contendo 1,43% de lisina apresentaram menor sobrevivência do que aquelas alimentadas com dietas com 1,80, 2,02 e 2,42% de lisina e sobrevivência similar às que receberam a dieta com 2,68% ($P < 0,05$). De forma geral, os peixes da G5 apresentaram melhores respostas de crescimento em relação à G0 e foi identificada a interação Lisina X Geração apenas para o consumo de ração (CR), tendo sido verificado comportamento linear para a G0 e quadrático para a G5. Com base no peso médio aos 28 e aos 56 dias de idade, os modelos de regressão quadráticos indicaram 2,4374 e 2,6773% de lisina na dieta, respectivamente, para as pós-larvas de ambas as gerações. Apesar do maior consumo de ração dos peixes da G5, em relação aos da G0, o modelo de regressão quadrático para conversão alimentar aparente, sugeriu níveis distintos de lisina na dieta para G0 e G5, sendo esses de 2,3083 e 2,2292%. Em conclusão, a resposta de desempenho em crescimento dos animais da G5 é superior aos da G0, não sendo necessária a utilização de dietas com níveis específicos de lisina para cada geração, uma vez que a demanda de lisina foi a mesma para peso aos 28 dias (2,4374%) e aos 56 dias (2,6773%).

Palavras-chave: aminoácidos, *Oreochromis niloticus*, taxa de crescimento, pós-larvas, nutrição, melhoramento genético

1. Introdução

O conhecimento das necessidades nutricionais das espécies cultivadas é essencial para a adequada formulação de alimentos que possibilitam a expressão do potencial de crescimento desses animais. A tilápia do Nilo é a principal espécie aquícola cultivada no Brasil (Peixes BR, 2020) e é mundialmente reconhecida pelo seu potencial de cultivo em diversos sistemas de produção. Devido a sua expressividade na aquicultura, grande esforço de pesquisa é aplicado ao conhecimento das suas necessidades nutricionais. Entre os aminoácidos essenciais, destaque tem sido dado à determinação das exigências nutricionais de lisina (Santiago e Lovell, 1988; Furuya et al., 2004, 2006, 2013; Teixeira et al., 2008; Takishita et al., 2009; Bomfim et al., 2010; Rampe, 2012; He et al., 2013; Michelato et al., 2016; Hua et al., 2019), que é o primeiro aminoácido limitante para a deposição de proteínas corporais (Forster e Ogata, 1998; Abboudi et al., 2006), principalmente em dietas com a inclusão de ingredientes de origem vegetal em substituição à farinha de peixes (NRC, 2011; Cao et al., 2012).

As necessidades de lisina para a tilápia do Nilo foram sumarizadas por Furuya (2010) nas *Tabelas Brasileiras para a Nutrição de Tilápias*, sendo de 1,38 a 2,20% de lisina na dieta. Posteriormente, o NRC (2011) sugeriu 1,60% de lisina na dieta. As variações encontradas nas recomendações de aminoácidos são geralmente associadas a diversos fatores relacionados ao desenho e às condições experimentais (NRC, 2011), assim como o uso de diferentes materiais genéticos (Santiago e Lovell, 1988; Bomfim et al., 2010; NRC, 2011), alta inclusão de aminoácidos sintéticos (Wilson, 2003), diferença de tamanho dos peixes (He et al., 2013) e à utilização de diferentes abordagens metodológicas e de análise de dados (Bureau e Encarnação, 2006). Embora seja comumente citado que parte das diferenças nas estimativas das necessidades de lisina podem ser associadas à genética dos animais utilizados, em função das distintas taxas de crescimento apresentadas pelos materiais genéticos disponíveis comercialmente, poucos estudos avaliaram o efeito direto de dietas com distintos níveis de lisina sobre o desempenho zootécnico de peixes com diferentes taxas de crescimento.

Buscando avaliar se a exigência de lisina na dieta para truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) alteraria em função do uso de animais com potencial de crescimento diferente, Lee et al. (2020) verificaram que, com base no ganho de peso, a exigência de lisina na dieta foi de 2,20%, tanto para a linhagem de crescimento rápido, quanto para a de crescimento lento, apesar do ganho de peso da linhagem de crescimento rápido ter sido 160% mais elevado que da linhagem de crescimento lento. Já ao estimarem as exigências com base na retenção de proteínas, tais autores verificaram que essas foram mais elevadas, sendo de 2,75% para a linhagem de crescimento rápido, e de 2,23% para a linhagem de crescimento lento. Em outro

estudo com trutas arco-íris, Gatrell et al. (2017) verificaram a existência do efeito de família sobre o peso corporal final e eficiência alimentar ao avaliarem as respostas de famílias com diferentes potenciais de crescimento alimentadas com dietas contendo níveis adequados e deficientes de lisina. Esses autores identificaram uma família que apresentou crescimento superior, mesmo consumindo dieta deficiente em lisina, sugerindo ser o indicativo da existência de interação genótipo x ambiente entre as famílias avaliadas e os níveis dietéticos de lisina. Corroborando com essa perspectiva, Leite et al. (2019) observaram a existência de interação genótipo x ambiente entre níveis de lisina para ganho de peso diário em tilápias do Nilo, podendo a existência de uma resposta distinta aos diferentes níveis de lisina, alterar a classificação dos animais dentro dos programas de melhoramento genético que utilizam o ganho de peso diário como critério de seleção.

Sabendo-se que, nos últimos anos, o foco dos programas de melhoramento genético de tilápia do Nilo tem sido na melhoria da taxa de crescimento dos animais visando a maximização do ganho de peso (Eknath et al., 1991; Turra et al., 2010), a verificação da existência de diferenças na resposta de crescimento entre genótipos, frente a diferentes níveis de lisina nas dietas, podem contribuir com informações significativas a respeito da necessidade de adequação das dietas utilizadas para os genótipos com maior potencial de crescimento. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar as respostas de crescimento de dois materiais genéticos de tilápia do Nilo recebendo dietas com distintos níveis de lisina, sendo um material de crescimento rápido e o outro de crescimento lento, provenientes do Programa de Melhoramento Genético NGTAqua – Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais – Brasil.

2. Material e Métodos

2.1 Local de realização

O experimento foi realizado no Laboratório de Aquacultura (LAQUA) da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil. Todos os procedimentos experimentais foram empreendidos em concordância com as leis e diretrizes locais e nacionais sobre bem-estar animal. Além disso, o estudo foi aprovado na Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal de Minas Gerais (CEUA-UFMG) sob o protocolo de nº 393/2018.

2.2 Animais e delineamento experimental

Para a avaliação das respostas de crescimento de dois materiais genéticos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), recebendo dietas com distintos níveis de lisina, foram utilizados animais provenientes do Programa de Melhoramento Genético NGTAqua – Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil. A população base do programa de melhoramento foi considerada como sendo o grupo de crescimento lento (G0). Esse grupo é composto por animais da linhagem Chitralada, originados de fazenda comercial que adotava a seleção massal como método de seleção e mantido, por gerações, em reprodução aleatória. Já os animais de crescimento rápido, também chamados neste trabalho de grupo melhorado (G5), foram obtidos através da seleção, baseada na informação de pedigree e com o uso de avaliações genéticas buscando a seleção de animais com maior velocidade de crescimento, por cinco gerações e a partir da população base. Entre os materiais genéticos utilizados, neste estudo, existe a diferença de cinco gerações de seleção. De acordo com Turra (Comunicação pessoal, 2019), o ganho genético para peso aos 168 dias de idade é de aproximadamente 50% para a G5 em relação a G0.

Este estudo foi dividido em duas etapas sequenciais, sendo a primeira do 1º ao 28º dia e a segunda etapa do 29º ao 56º dia de idade. Na primeira etapa, foram utilizadas 1800 pós-larvas de tilápia do Nilo, sendo 900 animais da população base (G0) e 900 animais do grupo melhorado (G5). Já na segunda etapa, foram utilizados 450 alevinos, sendo 225 peixes da G0 e 225 peixes da G5, ambos provenientes da primeira etapa experimental. O estudo foi realizado em um delineamento inteiramente ao acaso, em esquema fatorial 5 x 2 (níveis de lisina x materiais genéticos), totalizando 10 tratamentos com 3 repetições.

2.3 Dietas

Cinco dietas isonitrogenadas (387,54 g kg⁻¹ de proteína bruta), isoenergéticas (18,56 MJ kg⁻¹ de energia bruta) e isolipídicas (91,56 g kg⁻¹ de extrato etéreo) foram formuladas à base de milho, farelo de soja, farinha de vísceras de aves, glúten de milho, farinha de carne e ossos e quireira de arroz (Tabela 1). As dietas foram formuladas para atender às exigências nutricionais de tilápias, de acordo com as recomendações apresentadas nas Tabelas Brasileiras para a Nutrição de Tilápias (Furuya, 2010), com exceção da lisina (Tabela 2). A suplementação de L-lisina HCl (78,5%), nas dietas basais, foi realizada em substituição ao L-Ácido glutâmico, resultando em níveis crescentes de lisina total (1,43; 1,80; 2,02; 2,42 e 2,68 %) nas dietas.

Os ingredientes utilizados, foram previamente moídos, em moinho de discos com peneira de 1,0 mm. Após a moagem, os ingredientes foram pesados e misturados. A mistura foi processada em uma extrusora de rosca simples (INBRA MX-40, Inbramaq, Ribeirão Preto, SP,

Brasil), obtendo-se péletes de 2 a 4 mm de diâmetro. Para a primeira etapa experimental, as dietas foram fornecidas após moagem em moinho de discos com peneira de 1,0 mm, na forma farelada. Já para a segunda etapa do estudo, os péletes foram quebrados com o objetivo de facilitar a apreensão pelos animais. As rações foram acondicionadas em baldes plásticos e mantidas em câmara fria à -5°C.

Tabela 1. Formulação e composição química das dietas com níveis crescentes de lisina para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) de duas gerações distintas.

Ingredientes (g kg ⁻¹)	Lisina total (%)				
	1,43	1,80	2,02	2,42	2,68
Milho grão	220,00	220,00	220,00	220,00	220,00
Soja Farelo 45% PB	235,00	235,00	235,00	235,00	235,00
Farinha de vísceras de aves	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00
Glúten de milho 60% PB	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Farinha de carne e ossos 45% PB	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00
Quirera de arroz	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
L-Ácido Glutâmico	20,00	16,20	12,40	8,60	4,70
L-Lisina	0,00	3,80	7,60	11,40	15,30
Fosfato bicálcico	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Óleo de soja	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
L-Treonina	5,90	5,90	5,90	5,90	5,90
Sal Comum	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50
Premix ^a	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
DL-Metionina	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40
T-Triptofano	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Vitamina C	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
BHT ^b	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20

Composição química calculada (g kg⁻¹ matéria seca)

Proteína bruta ^c	385,80	385,60	390,60	384,30	391,40
Extrato etéreo	91,57	91,57	91,57	91,57	91,57
Energia digestível (Mj kg ⁻¹)	18,53	18,55	18,57	18,59	18,61
Cálcio	20,04	20,04	20,04	20,04	20,04
Fósforo disponível	13,07	13,07	13,07	13,07	13,07

^a Premix Vaccinar Peixe Tropical com Vit. C (*inclusão 4 kg ton⁻¹*): Vitamina A (2.000.000 UI); Vitamina D3 (500.000 UI); Vitamina E (15.000 UI); Ácido Fólico (750 mg); Ácido Pantotênico (3.750 mg); Biotina (125 mg); Colina (125.000 mg); Niacina (7.800 mg); Vitamina B1 (2.500 mg); Vitamina B12 (5.000 mcg); Vitamina B2 (2.500 mg); Vitamina B6 (2.000 mg); Vitamina C (53.000 mg); Vitamina K3 (1.000 mg); Cobre (2.000 mg); Ferro (15.000 mg); Iodo (125 mg); Manganês (3.750 mg); Selênio (75 mg); Zinco (20.000 mg).

^b BHT: Hidroxitolueno butilado

^c Analisado

Tabela 2. Teores de aminoácidos totais das dietas com diferentes níveis de lisina para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) de duas gerações distintas.

Aminoácidos (%)	Lisina total (%)				
	1,43	1,80	2,02	2,42	2,68
<i>Essenciais</i>					
Arginina	2,03	2,00	2,09	2,05	2,10
Fenilalanina	1,81	1,83	1,83	1,85	1,84
Histidina	0,77	0,78	0,78	0,76	0,78
Isoleucina	1,46	1,44	1,47	1,48	1,47
Leucina	3,88	3,81	3,90	3,88	3,88
Lisina	1,43	1,80	2,02	2,42	2,68
Metionina	0,75	0,73	0,76	0,75	0,75
Treonina	2,04	2,09	2,12	2,07	2,09
Triptofano	0,48	0,52	0,47	0,51	0,47
Valina	1,71	1,68	1,70	1,71	1,72
<i>Não essenciais</i>					
Ácido Aspártico	2,37	2,74	2,74	2,68	2,66
Ácido Glutâmico	7,93	7,43	7,21	6,72	6,78
Alanina	2,45	2,41	2,45	2,44	2,46
Cistina	0,52	0,37	0,58	0,60	0,56
Glicina	2,05	2,08	2,08	2,08	2,12
Prolina	2,79	2,76	2,78	2,79	2,80
Serina	1,97	1,95	1,91	1,90	1,92
Tirosina	1,32	1,34	1,31	1,41	1,33

2.4 Instalações e Manejo

2.4.1 Etapa I – de 1 a 28 dias de idade

A primeira etapa (1 a 28 dias de idade) foi realizada em sistema de recirculação de água abastecido com água proveniente de poço artesiano, previamente analisada e adequada para o cultivo de peixes. O sistema contava com aeração constante, aquecimento e controle de temperatura, filtragem mecânica e filtragem biológica. Os tanques de cultivo possuíam 30 litros de volume útil e a unidade experimental foi considerada um tanque de 30 litros com 60 pós-larvas de tilápia do Nilo. O peso médio inicial foi de $0,0155 \pm 0,0031$ e $0,0163 \pm 0,0046$ g para pós-larvas de tilápia do Nilo da população base (G0) e do grupo melhorado (G5), respectivamente.

A temperatura, oxigênio dissolvido e pH foram monitorados diariamente, sendo de $28,53 \pm 1,13$ °C, $6,02 \pm 0,64$ mg/L e $6,98 \pm 0,45$, respectivamente. Nitrogênio amoniacal total (N-AT) e nitrogênio nítrico (N-NO₂⁻) foram determinados diariamente e, a cada dois dias, respectivamente, com o uso de kit's comerciais (Alcon, Camboriú, SC Brasil). As

concentrações não ultrapassaram 1,0 mg/L para N-AT e 0,5 mg/L para o N-NO₂⁻. Durante o experimento foi mantido o fotoperíodo de 12 horas e os animais foram alimentados nove vezes ao dia (8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 16 horas). As rações foram fornecidas considerando as seguintes taxas de arraçamento: 30, 25, 20 e 15% na primeira, segunda, terceira e quarta semana, respectivamente. Manteve-se um fluxo de água nas unidades de cultivo de 0,5 litros por minuto, e as caixas foram sifonadas uma vez ao dia, com o objetivo de remover sobras de ração e fezes depositadas ao fundo.

Os animais foram pesados e contados no primeiro dia, aos 14, 21 e 28 dias de cultivo, utilizando balança analítica. Após a pesagem e contagem, aos 28 dias de cultivo, calculou-se o peso médio e, 15 animais de cada unidade experimental, foram transferidos para caixas de 100 litros de volume útil, onde realizou-se a segunda etapa. Os animais escolhidos para a sequência do estudo na Etapa II, em cada unidade experimental, foram retirados aleatoriamente do mesmo tratamento na Etapa I, mantendo-se animais com o peso médio individual semelhante ao obtido em cada unidade experimental na Etapa I.

2.4.2 Etapa II- 29 a 56 dias de idade

Imediatamente após a pesagem aos 28 dias de idade e a seleção de 15 indivíduos por unidade experimental para a sequência do estudo, os animais foram transferidos para tanques de cultivo com volume útil de 100 litros, em sistema de recirculação distinto do utilizado na primeira etapa. O sistema de recirculação de água foi abastecido com água proveniente de poço artesiano e, também, com aeração constante, aquecimento e controle de temperatura, filtragem mecânica e filtragem biológica. Essa etapa foi a continuação da etapa anterior, mantidos os mesmos tratamentos (dieta e geração) por unidade experimental, sendo essa um tanque de 100 litros com 15 alevinos de tilápia do Nilo. O peso médio inicial na segunda etapa foi de $1,096 \pm 0,196$ e $1,569 \pm 0,243$ g para alevinos de tilápia do Nilo da geração base (G0) e do grupo melhorado (G5), respectivamente.

Os parâmetros de qualidade de água foram mantidos dentro da faixa adequada para cultivo da espécie, com a temperatura, oxigênio dissolvido e pH monitorados diariamente e mantidos em $29,02 \pm 0,88$ °C, $5,48 \pm 0,73$ mg/L e $6,87 \pm 0,39$, respectivamente. Nitrogênio amoniacal total (N-AT) e nitrogênio nítrico (N-NO₂⁻) foram determinados a cada dois dias com o uso de kits comerciais (Alcon, Camboriú, SC Brasil) e mantidos abaixo de 0,15 mg/L. Durante essa etapa, foi mantido o fotoperíodo de 12 horas e os animais foram alimentados até a saciedade aparente, nove vezes ao dia (8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 16 horas). Após cada alimentação, as sobras de ração foram recolhidas e armazenadas em freezer à -18°C. Posteriormente, as sobras foram secas em estufa ventilada à 55°C e contabilizadas.

Uma biometria foi realizada aos 56 dias, utilizando balança eletrônica, e todos os animais foram recontados para a avaliação da sobrevivência.

2.5 Avaliação de desempenho

Para a avaliação do desempenho, foram avaliados o peso médio aos 28 dias de idade (PM 28), o ganho de peso médio de 1 a 28 dias de idade (GPM 1-28), taxa de crescimento específico de 1 a 28 dias de idade (TCE 1-28), peso médio aos 56 dias de idade (PM 56), ganho de peso médio dos 29 aos 56 dias de idade (GPM 29-56), taxa de crescimento específico de 1 a 56 dias de idade (TCE Geral), lisina fornecida por ganho de peso vivo (Lys Ganho⁻¹), consumo de ração (CR), conversão alimentar aparente (CAA), sobrevivência aos 28 dias de idade (SOB 28) e sobrevivência de 1 a 56 dias (SOB Geral).

PM 28 = peso total dos peixes por caixa aos 28 dias / número de peixes por caixa aos 28 dias

GPM 1-28 = (peso médio aos 28 dias – peso médio inicial) / 28 dias

TCE 1-28 = 100 x [(ln do peso médio aos 28 dias – ln do peso médio inicial) / 28 dias]

PM 56 = peso total dos peixes por caixa aos 56 dias / número de peixes por caixa aos 56 dias

GPM 29-56 = (peso médio aos 56 dias – peso médio inicial) / 56 dias

TCE Geral = 100 x [(ln do peso médio aos 56 dias – ln do peso médio inicial) / 56 dias]

Lys Ganho⁻¹ = [(quantidade de ração fornecida – sobras de ração) x nível de lisina] / ganho de peso por caixa

CR = [(quantidade de ração fornecida até 28 dias – sobras de ração) / número de peixes aos 28 dias] + [(quantidade de ração fornecida do 29 ao 56º dia – sobras de ração) / número de peixes aos 56 dias]

CAA = (quantidade de ração fornecida – sobras de ração) / ganho de peso

SOB 28 = (número de peixes aos 28 dias / número inicial de peixes) x 100

SOB Geral = 100 x [(número de peixes aos 28 dias / número inicial de peixes) x (número de peixes aos 56 dias / número de peixes aos 29 dias)]

2.6 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à verificação dos pressupostos da ANOVA. Assim, os resíduos gerados foram submetidos às análises de normalidade e homocedasticidade pelos testes de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente. Os pressupostos foram atendidos para praticamente todas as variáveis, com exceção da sobrevivência aos 28 dias de idade e sobrevivência geral. Para essas variáveis, os dados foram analisados através do teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, complementado com o teste de comparação múltipla de Dunn, quando necessário. Já os dados que tiveram as pressuposições atendidas, foram submetidos à análise de variância de acordo com o modelo estatístico $Y_{ij} = \mu + Lys_i + Ger_j + \epsilon_{ij}$, onde Y_{ij} é o valor observado para a variável estudada; μ é o efeito da média geral; Lys_i é o efeito do nível de lisina na ração; Ger_j é o efeito da geração; e ϵ_{ij} é o erro experimental.

Na sequência os dados foram submetidos ao estudo de regressão, considerando-se o nível de lisina da ração como variável independente e a geração avaliada como variável explicativa categórica, que assumiu valor zero ($z=0$) para a população base e valor um ($z=1$) para o grupo melhorado. Para as variáveis em que foram identificados os efeitos dos níveis de lisina e da geração utilizada, as curvas resposta produzidas pelas duas gerações foram comparadas através do teste de paralelismo, conforme modelo adaptado de Kaps e Lamberson (2004). Utilizou-se como variável classificatória, a geração (Ger) e como co-variável, o nível de lisina na dieta (Lys), sendo o modelo $y_{ij} = b_0 + Ger_i + b_1 x_{ij} + b_2 x_{ij}^2 + \sum_i b_{3i} (Ger * x)_{ij} + \epsilon_{ij}$, onde y_{ij} é o valor da variável correspondente à observação j da geração i ; b_0 , b_1 , b_2 e b_3 são os parâmetros da regressão; Ger_i é o efeito da geração; x_{ij} é o valor da variável independente contínua para a observação j na geração i ; x_{ij}^2 é o valor da variável independente contínua para o componente quadrático da observação j na geração i ; $(Ger * x)_{ij}$ é o efeito da interação entre a variável classificatória e a co-variável; e ϵ_{ij} é o erro aleatório. Todas as análises foram realizadas com o uso do software R (R Core Team, 2016), considerando um nível de significância de até 5%.

3. Resultados

O resultado de peso médio inicial não diferiu ($P > 0,05$) entre as gerações. As diferenças observadas para as variáveis avaliadas, foram em função dos níveis de lisina ou do grupo genético utilizado, conforme apresentado na Tabela 3, que resume os resultados experimentais.

Tabela 3. Peso médio inicial (PMI), peso médio aos 28 dias de idade (PM 28), ganho de peso médio de 1 a 28 dias de idade (GPM 1-28), taxa de crescimento específico de 1 a 28 dias de idade (TCE 1-28), sobrevivência aos 28 dias de idade (SOB 28), peso médio aos 56 dias de idade (PM 56), ganho de peso médio dos 29 aos 56 dias de idade (GPM 29-56), lisina fornecida por ganho de peso vivo (Lys Ganho⁻¹), taxa de crescimento específico de 1 a 56 dias de idade (TCE Geral), consumo de ração (CR), conversão alimentar aparente (CAA) e sobrevivência de 1 a 56 dias (SOB Geral) de tilápia do Nilo de dois grupos genéticos alimentados com dietas com distintos níveis de lisina.

Variável	Geração	Níveis de lisina (%)					Geral	CV (%) ^a	Valor de P		
		1,43	1,80	2,02	2,42	2,68			Lisina	Geração	Lisina x Geração
PMI (g)	G0						0,0155				
	G5						0,0163			0,292	
PM 28 (g) ^b	G0	0,78	1,10	1,18	1,22	1,20	1,10 b	12,32	0,0006	<0,0001	0,7571
	G5	1,23	1,62	1,59	1,56	1,77	1,55 a				
	Geral	1,00	1,36	1,39	1,39	1,49					
GPM 1-28 (g dia ⁻¹) ^b	G0	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04 b	12,48	0,0006	<0,0001	0,7571
	G5	0,04	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05 a				
	Geral	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05					
TCE 1-28 (% dia ⁻¹) ^b	G0	13,43	14,70	14,92	15,04	14,98	14,61 b	2,87	0,0001	<0,0001	0,6176
	G5	15,41	16,42	16,32	16,27	16,72	16,23 a				
	Geral	14,42	15,56	15,62	15,66	15,85					
SOB 28 (%) ^c	G0	85,00	90,00	95,00	88,33	95,00	93,33		0,2145	0,7535	
	G5	93,33	93,33	91,67	91,67	90,00	91,67				
	Geral	89,17	92,50	95,00	90,00	95,00					
PM 56 (g) ^b	G0	6,57	9,55	11,53	13,13	13,77	10,91 b	11,61	<0,0001	<0,0001	0,6154
	G5	11,33	16,72	17,48	17,62	19,67	16,56 a				
	Geral	8,95	13,14	14,51	15,37	16,72					
GPM 29-56 (g dia ⁻¹) ^b	G0	0,21	0,30	0,37	0,43	0,45	0,35 b	12,03	<0,0001	<0,0001	0,5654
	G5	0,36	0,54	0,57	0,57	0,64	0,54 a				
	Geral	0,28	0,42	0,47	0,50	0,54					

Tabela 3. *Continuação...*

Variável	Geração	Níveis de lisina (%)					Geral	CV (%) ^a	Valor de P		
		1,43	1,80	2,02	2,42	2,68			Lisina	Geração	Lisina x Geração
Lys Ganho ⁻¹ (mg g ⁻¹) ^b	G0	49,24	41,03	41,11	47,66	56,53	47,11 a	12,42	0,0002	0,0029	0,9783
	G5	40,98	32,68	35,06	42,12	51,10	40,39 b				
	Geral	45,11	36,86	38,09	44,89	53,81					
TCE Geral (% dia ⁻¹) ^b	G0	10,52	11,20	11,54	11,77	11,85	11,38 b	1,78	<0,0001	<0,0001	0,2223
	G5	11,68	12,37	12,45	12,46	12,66	12,32 a				
	Geral	11,10	11,78	11,99	12,12	12,26					
CR (g peixe ⁻¹) ^b	G0	14,52 b	14,74 b	15,88 b	17,51 b	19,92 b	16,51 b	4,79	<0,0001	<0,0001	0,0036
	G5	23,86 a	21,54 a	20,54 a	23,18 a	27,77 a	23,37 a				
	Geral	19,19	18,14	18,21	20,34	23,84					
CAA ^b	G0	3,44	2,28	2,04	1,97	2,11	2,37 a	14,23	<0,0001	0,0054	0,8068
	G5	2,87	1,82	1,74	1,74	1,91	2,01 b				
	Geral	3,15	2,05	1,89	1,85	2,01					
SOB Geral (%) ^d	G0	68,44	84,00	91,78	85,56	70,89	85,00		0,0379	0,6628	
	G5	69,67	88,67	88,33	88,89	76,56	87,11				
	Geral	69,06 a	87,89 b	90,22 b	86,94 b	74,28 ab					

^a Coeficiente de variação;

^b Letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste F (P < 0,05);

^c Teste de Kruskal-Wallis (P < 0,05); Mediana;

^d Letras diferentes na linha para média geral por nível de lisina, diferem entre si pelo Teste de Kruskal-Wallis (P < 0,05), complementado com o teste de Dunn (P < 0,05); Mediana;

G0: população base; G5: grupo melhorado.

Pode-se verificar que houve efeito da interação entre os níveis de lisina nas dietas e o grupo genético apenas quanto ao CR, evidenciando a necessidade do ajuste de equações específicas para cada um dos materiais genéticos utilizados (Tabela 4, Figura 4). Para as demais variáveis, as análises preliminares mostraram não haver efeito de interação Lisina x Geração, indicando que o efeito dos diferentes níveis de lisina foi semelhante nos dois grupos genéticos utilizados.

A sobrevivência não diferiu em função da genética utilizada ($P > 0,05$) na primeira etapa (1 a 28 dias) e nem mesmo quando analisando todo o período experimental (1 a 56 dias). Quando avaliada em função dos níveis de lisina das dietas, a sobrevivência não foi afetada pelos níveis de lisina na primeira etapa. Porém, quando avaliada durante os 56 dias, os animais alimentados com o nível de 1,43% de lisina na dieta, apresentaram menor sobrevivência em relação aos que receberam dietas com 1,80, 2,02 e 2,42% de lisina, ambos similares aos alimentados com 2,68% de lisina. Para as demais variáveis avaliadas, o grupo melhorado (G5) apresentou melhor resposta em relação à população base (G0). O PM 28 (1,55 versus 1,10 g, $P < 0,0001$) foi 41,76% superior; o GPM 1-28 (0,05 versus 0,04 g dia⁻¹, $P < 0,0001$) foi 42,61% mais elevado; a TCE 1-28 (16,23 versus 14,61 % dia⁻¹, $P < 0,0001$) foi 11,06% maior; o PM 56 (16,56 versus 10,91 g, $P < 0,0001$) mostrou-se 51,80% superior; o GPM 29-56 (0,54 versus 0,35 g dia⁻¹, $P < 0,0001$) apresentou-se 52,77% mais alto e a TCE Geral (12,32 versus 11,38 % dia⁻¹, $P < 0,0001$) foi 8,34% mais elevada em relação à G0. Ainda, para os animais do grupo G5 a Lys Ganho⁻¹ (40,39 versus 47,11 mg g⁻¹, $P < 0,0029$), foi 14,27% menor em relação ao fornecido aos animais do grupo G0. O CR dos animais da G5 foi 41,55% maior em relação aos animais da G0, porém, a CAA foi de 2,37 e 2,01 para a G0 e G5, respectivamente, indicando uma redução no valor de 15,19% ($P < 0,0054$) da população base, para o grupo melhorado.

Quando avaliado o desempenho dos animais, em relação aos níveis de lisina nas dietas durante os primeiros 28 dias, correspondente à fase de masculinização na produção comercial de tilápias, verificou-se comportamento quadrático entre esses e o PM 28, o GPM 1-28 e a TCE 1-28, como pode ser observado na Tabela 4. Para o PM 28, o nível de lisina estimado (Lis_e) tanto para a G0, quanto para G5 foi o mesmo, sendo este de 2,4374% de lisina na dieta (Tabela 4; Figura 1). Analisando o GPM 1-28, estimou-se o nível de lisina de 2,4408 para ambos os materiais utilizados. Na avaliação da TCE 1-28, o Lis_e foi de 2,4371% para a G0, enquanto que para a G5, foi de 2,3316%.

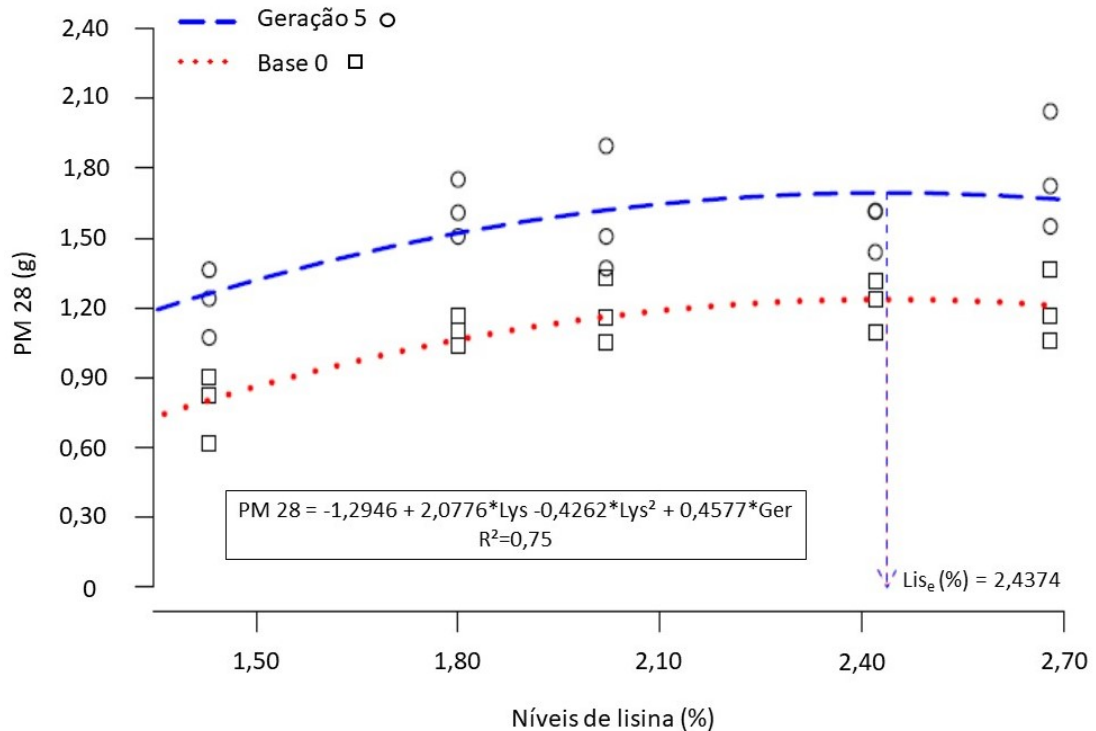


Figura 1. Peso médio aos 28 dias de idade (PM 28) de alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) de dois grupos genéticos alimentados com dietas com distintos níveis de lisina. Lys: nível de lisina na dieta; Ger: geração utilizada (assume valor zero [0] para a população base e valor um [1] para a geração 5); Lis_e (%): nível de lisina estimado.

Ao incluir a segunda etapa na análise dos resultados, que corresponde na produção comercial as quatro semanas após a finalização do processo de masculinização, comportamento quadrático entre os níveis de lisina e algumas variáveis foram identificadas. O Lis_e com base no PM 56 foi de 2,6773% para as duas gerações (Tabela 4; Figura 2). Na avaliação que teve como base o GPM 29-56, o nível estimado foi de 2,7205%, não diferindo entre a G0 e G5. Verificou-se, também, relação quadrática entre os níveis de lisina e a Lys Ganho⁻¹, CAA e a TCE Geral. Para a Lys Ganho⁻¹ as estimativas diferiram, sendo os valores estimados em 1,9525% para a G0 e 1,9083% para a G5. Com base na CAA, os níveis de lisina estimados foram de 2,3083 e 2,2292% para a G0 e G5, respectivamente (Tabela 4; Figura 3). E assim, como verificado para a TCE 1-28, os níveis de lisina estimados com base na TCE Geral foram maiores para a G0 em relação à G5, sendo esses de 2,6580 e 2,4428%, respectivamente. Para o CR, foram observadas diferenças acentuadas no padrão de resposta dessa variável com o aumento dos níveis de lisina nas dietas, verificando comportamento linear para a G0 ($P < 0,0001$) e quadrático para a G5 (Tabela 4; Figura 4), sendo o Lis_e de 1,9454%.

Tabela 4. Equações ajustadas para peso médio aos 28 dias de idade (PM 28), ganho de peso médio de 1 a 28 dias de idade (GPM 1-28), taxa de crescimento específico de 1 a 28 dias de idade (TCE 1-28), peso médio aos 56 dias de idade (PM 56), ganho de peso médio dos 29 aos 56 dias de idade (GPM 29-56), lisina fornecida por ganho de peso vivo (Lys Ganho⁻¹), taxa de crescimento específico de 1 a 56 dias de idade (TCE Geral), consumo de ração (CR), conversão alimentar aparente (CAA) e níveis de lisina estimados (Lis_e) para tilápia do Nilo de dois grupos genéticos de 1 a 56 dias de idade.

Variável		Equação ^a	P>F	R ²	Lis _e (%)
PM 28	Geral	$-1,2946 + 2,0776 * \text{Lys} - 0,4262 * \text{Lys}^2 + 0,4577 * \text{Ger}$	<0,0001	0,7500	2,4374
GPM 1-28	Geral	$- 0,0469 + 0,0742 * \text{Lys} - 0,0152 * \text{Lys}^2 + 0,0164 * \text{Ger}$	<0,0001	0,7510	2,4408
TCE 1-28	Geral	$6,2356 + 7,2815 * \text{Lys} - 1,4939 * \text{Lys}^2 + 2,2686 * \text{Ger} - 0,3152 * \text{Lys} * \text{Ger}$	<0,0001	0,8196	
	G0	$6,2356 + 7,2815 * \text{Lys} - 1,4939 * \text{Lys}^2$			2,4371
	G5	$8,5042 + 6,9663 * \text{Lys} - 1,4939 * \text{Lys}^2$			2,3316
PM 56	Geral	$-19,7335 + 24,8505 * \text{Lys} - 4,6410 * \text{Lys}^2 + 5,6522 * \text{Ger}$	<0,0001	0,8635	2,6773
GPM 29-56	Geral	$-0,6561 + 0,8107 * \text{Lys} - 0,1499 * \text{Lys}^2 + 0,1850 * \text{Ger}$	<0,0001	0,8606	2,7205
TCE Geral	Geral	$5,6653 + 4,6536 * \text{Lys} - 0,8754 * \text{Lys}^2 + 1,7287 * \text{Ger} - 0,3768 * \text{Lys} * \text{Ger}$	<0,0001	0,9057	
	G0	$5,6653 + 4,6536 * \text{Lys} - 0,8754 * \text{Lys}^2$			2,6580
	G5	$7,3940 + 4,2768 * \text{Lys} - 0,8754 * \text{Lys}^2$			2,4428
Lys Ganho ⁻¹	Geral	$154,7985 - 116,7238 * \text{Lys} + 29,8903 * \text{Lys}^2 - 12,1914 * \text{Ger} + 2,6415 * \text{Lys} * \text{Ger}$	<0,0001	0,6586	
	G0	$154,7985 - 116,7238 * \text{Lys} + 29,8903 * \text{Lys}^2$			1,9525
	G5	$142,6071 - 114,0823 * \text{Lys} + 29,8903 * \text{Lys}^2$			1,9083
CR	G0	$7,6164 + 4,2978 * \text{Lys}$	<0,0001	0,9005	-----
	G5	$68,6291 - 49,2732 * \text{Lys} + 12,6642 * \text{Lys}^2$	<0,0001	0,9801	1,9454
CAA	Geral	$12,3790 - 9,1063 * \text{Lys} + 1,9725 * \text{Lys}^2 - 1,0007 * \text{Ger} + 0,3122 * \text{Lys} * \text{Ger}$	<0,0001	0,7599	
	G0	$12,3790 - 9,1063 * \text{Lys} + 1,9725 * \text{Lys}^2$			2,3083
	G5	$11,3783 - 8,7941 * \text{Lys} + 1,9725 * \text{Lys}^2$			2,2292

^a Lys: nível de lisina; Ger: geração - assume valor zero [0] para a população base (G0) e valor um [1] para o grupo melhorado (G5).

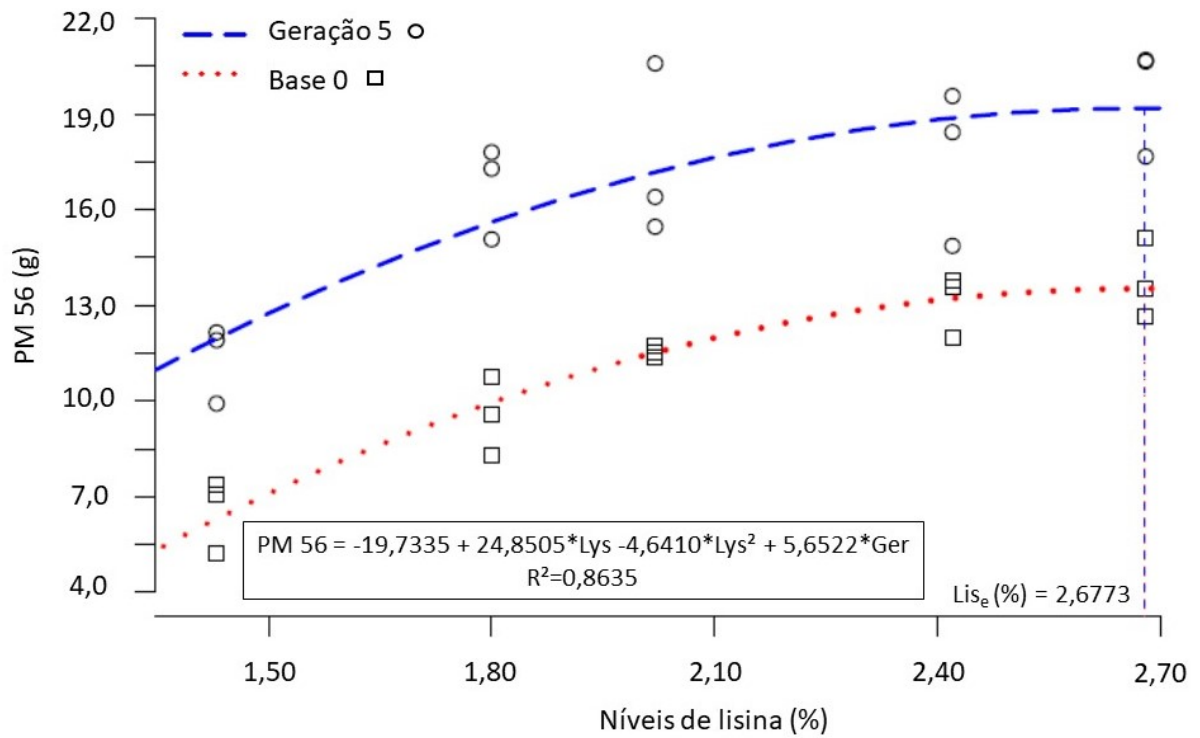


Figura 2. Peso médio aos 56 dias de idade (PM 56) de juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) de dois grupos genéticos alimentados com dietas com distintos níveis de lisina. Lys: nível de lisina na dieta; Ger: geração utilizada (assume valor zero [0] para a população base e valor um [1] para a geração 5); Lis_e (%): nível de lisina estimado.

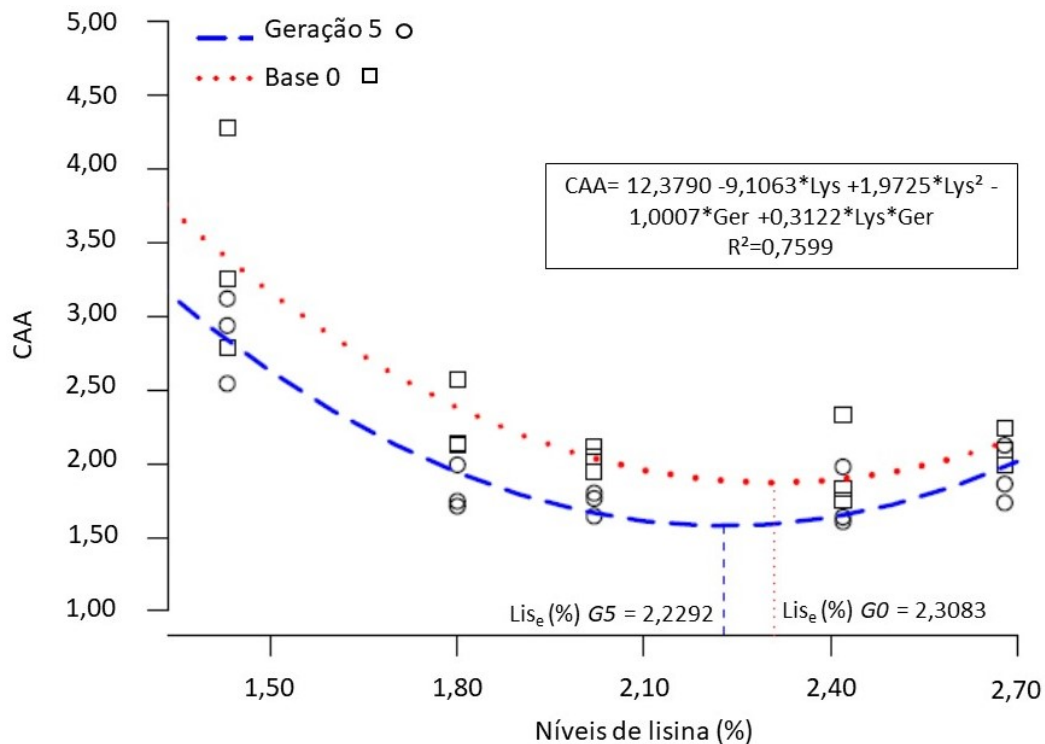


Figura 3. Conversão Alimentar Aparente (CAA) de juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) de dois grupos genéticos alimentados com dietas com distintos níveis de lisina de 1 a 56 dias de idade. Lys: nível de lisina na dieta; Ger: geração utilizada (assume valor zero [0] para a população base e valor um [1] para a geração 5); Lis_e (%): nível de lisina estimado.

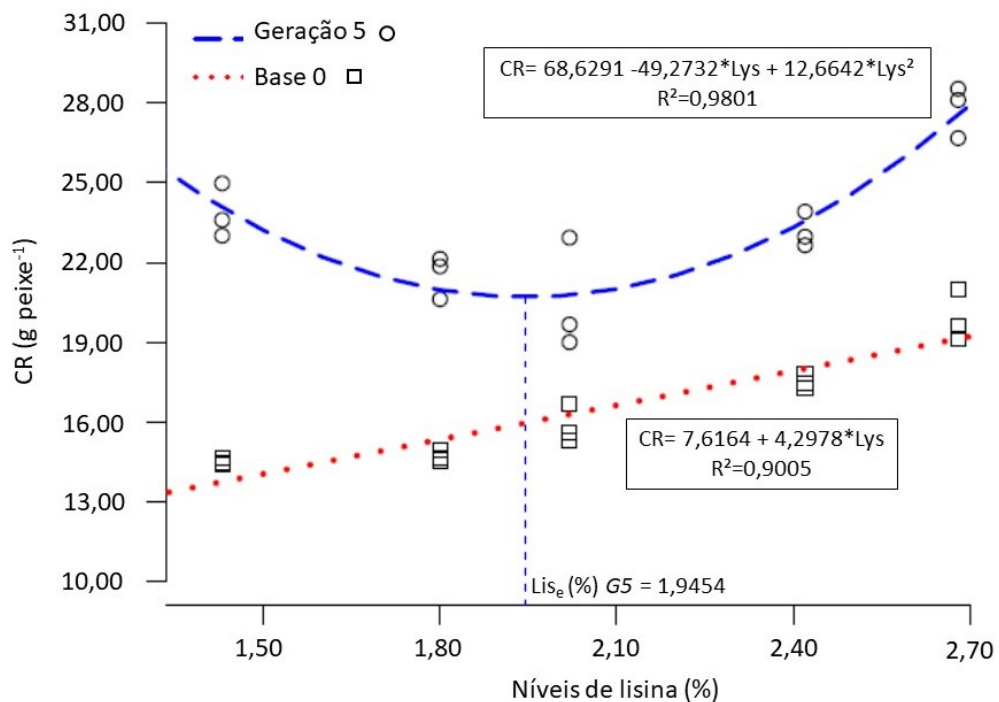


Figura 4. Consumo de ração (CR) de juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) de dois grupos genéticos alimentados com dietas com distintos níveis de lisina de 1 a 56 dias de idade. Lys: nível de lisina na dieta; Lis_e (%): nível de lisina estimado.

4. Discussão

Há disponíveis na literatura, diversos trabalhos referentes à avaliação das exigências de lisina para a tilápia do Nilo (Santiago e Lovell, 1988; Furuya et al., 2004, 2006, 2013; Takishita et al., 2009; Bomfim et al., 2010; He et al., 2013; Michelato et al., 2016; Hua et al., 2019). No entanto, não se encontra disponível na literatura acerca da tilápia do Nilo, estudos que tenham apresentado evidências de que materiais genéticos, com potencial para ganho de peso diferente respondam de forma distinta a um aminoácido essencial, quando comparados entre si, como no presente estudo. Quando avaliado o PM 28 e o GPM 1-28, os animais da G0 e G5 obtiveram padrão de resposta similar e com magnitude distinta, sendo o nível de lisina estimado o mesmo para ambos os grupos. Para PM 28 e GPM 1-28 as estimativas foram de aproximadamente 2,44% da dieta. Já ao avaliar a resposta dos grupos, em relação ao PM 56 e ao GPM 29-56, a necessidade de lisina foi de aproximadamente 2,6772 e 2,7203% para G0 e G5, respectivamente, tendo os animais da G5 apresentado maior peso e ganho de peso em relação aos peixes da G0.

Em geral, as recomendações de níveis de lisina para tilápias do Nilo são apresentadas no NRC (2011), que sugere o uso de 1,60% de lisina nas dietas, não fazendo distinção entre as fases de desenvolvimento dos peixes e do potencial de crescimento para as necessidades de aminoácidos apresentadas. No Brasil, Furuya (2010) nas *Tabelas Brasileiras para a Nutrição de Tilápias*, sugere o uso de 2,20; 1,53 e 1,38% de lisina digestível nas dietas para as fases de masculinização; pós masculinização até 100 gramas de peso vivo; e acima de 100 gramas de peso vivo, respectivamente. Verifica-se que, ambas recomendações, não levam em consideração a genética dos animais e o potencial de crescimento, mesmo sendo citado com frequência que a variação genética é um dos fatores que pode levar às alterações nas exigências nutricionais de peixes (Hauler e Carter, 2001; NRC, 2011). No entanto, neste estudo, com base no peso aos 28 dias e no ganho de peso de 1 a 28 dias de cultivo, foi estimada a necessidade de lisina de 2,44% na dieta (aproximadamente 2,20% de lisina digestível). Observa-se que o resultado encontrado para essa fase, com base no peso e no ganho de peso, é similar ao proposto por Furuya (2010) para a fase de masculinização, embora esse autor não tenha utilizado estudos nessa mesma fase de desenvolvimento dos animais para a proposta apresentada. Os presentes achados sugerem que os animais com maior potencial de crescimento (G5) apresentam necessidade de lisina similar à população base (G0), porém apresentando desempenho superior em 41,76% para PM 28, de 42,61% para GPM 1-28 e sobrevivências similares.

Quando considerados o PM 56 e o GPM 29-56, a diferença de desempenho entre os dois grupos genéticos aumentou para 51,80 e 52,77%, respectivamente, e com as estimativas das

necessidades de lisina similares para os dois grupos avaliados, entretanto mais elevadas que as obtidas para PM 28 e GPM 1-28. A diferença de desempenho entre animais selecionados e não selecionados para ganho de peso, verificada nesse estudo, é corroborada com os relatos na literatura a respeito de trabalhos de seleção para desempenho zootécnico da tilápia do Nilo, que indicam que animais da linha GIFT (*Genetic Improved Farmed Tilapia*) provenientes de um programa de melhoramento genético de tilápias na Ásia, apresentaram ganho genético por geração para crescimento de 12 a 17%, quando em comparação com as linhagens locais de tilápias do Nilo (Eknath e Hulata, 2009).

A similaridade entre as estimativas das necessidades de lisina verificadas, neste estudo, indica que os grupos avaliados podem ter diferido quanto à eficiência digestiva ou ao metabolismo da lisina, o que é apoiado com os resultados obtidos por Gatrell et al. (2017) ao estudarem o catabolismo da lisina em diferentes famílias de trutas arco-íris alimentadas com dietas deficientes ou não em lisina. Esses autores verificaram que o desempenho diferiu entre as famílias que consumiram dietas deficientes em lisina e identificaram uma família que, mesmo recebendo dietas deficientes em lisina, os animais apresentaram melhor desempenho para características de interesse comercial, como ganho de peso e eficiência alimentar, o que atribuíram a uma evidência de que possa existir um efeito genético sobre o metabolismo da lisina, demonstrado pela melhor capacidade de aproveitamento.

O aumento observado na estimativa da necessidade de lisina dos 28 dias para os 56 dias de cultivo, com base no peso e ganho de peso, contradiz o que é vastamente aceito na nutrição de peixes, de que, a necessidade de proteína e conseqüentemente de aminoácidos na dieta, diminuem com o crescimento dos animais (NRC, 2011). Na literatura há indícios de aumento nas exigências de manutenção de dois aminoácidos essenciais, lisina e metionina, com o crescimento da tilápia do Nilo (He et al., 2013; Hua et al., 2019), não evidentemente claro se essas alterações são responsáveis pelas mudanças na necessidade de lisina à medida que os animais crescem, como as observadas neste estudo.

Embora as equações tenham apresentado um bom ajuste aos dados de PM 56 ($R^2=0,8635$) e GPM 29-56 ($R^2=0,8606$), os níveis de lisina estimados (2,6772 e 2,7203%, respectivamente) encontram-se no limite ou fora do intervalo testado. Os valores obtidos são bem mais elevados que os 1,43% de lisina na dieta sugeridos por Santiago e Lovell (1988), ao determinarem as exigências de lisina para tilápia do Nilo com peso inicial de 41 mg por um período de oito semanas e, também, o preconizado no NRC (2011) de 1,60%, indicando que esses níveis de lisina não são adequados para pós-larvas de tilápia do Nilo de linhagens melhoradas, seja por seleção massal, que corresponde aos animais de crescimento lento,

utilizados nesse estudo (G0), ou por seleção baseada na informação de pedigree, correspondente aos animais de crescimento rápido (G5). Os resultados encontrados são ainda apoiados por estudos recentes, como o trabalho de Nguyen e Davis (2016) que verificaram maior peso à medida que se aumentou os níveis de lisina na dieta de 1,13 a 2,02% para tilápia do Nilo de 6,4 g a aproximadamente 43,0 g.

Ao avaliar a taxa de crescimento específico (TCE) dos animais de ambos os grupos, fica evidente a diferença nas respostas em relação ao grupo genético utilizado, assim como a estimativa da necessidade de lisina distinta para cada grupo genético. A TCE apresenta o crescimento por dia, e embora seja de fácil aplicação e comparabilidade dos resultados, são citadas as desvantagens de superestimar o peso corporal previsto em relação ao peso corporal final (Cho, 1992) e, por considerar o crescimento dos peixes como exponencial (Dumas et al., 2010). Apesar desses pontos negativos, o uso dessa variável para expressar a taxa de crescimento de peixes, é vastamente aceito, principalmente quando se compara grupos de peixes em experimentos de curto prazo, avaliando questões nutricionais e trabalhando com animais jovens (Lugert et al., 2016). Com base na TCE 1-28 e na TCE Geral, a demanda de lisina diferiu entre os grupos genéticos, sendo 4,33 e 8,10 %, respectivamente, menor para os peixes da G5 em relação aos animais da G0.

Durante o estudo, a alimentação dos peixes nos primeiros 28 dias de cultivo foi realizada com as rações na forma farelada, que apesar de dificultar a mensuração do consumo, foram ajustadas semanalmente, com base na biomassa estocada e de forma a não limitar o desempenho dos animais. A partir do 29º dia de avaliação, o fornecimento foi à vontade e a resposta dos animais em relação ao CR diferiu entre as duas gerações avaliadas. A resposta dos peixes da G0 foi linear (Tabela 4; Figura 4), aumentando o consumo da ração à medida que se aumentou os níveis de lisina, similar ao observado por Takishita et al. (2009) e Bomfim et al. (2010), ao avaliarem as exigências de lisina para tilápia do Nilo de aproximadamente 1 a 12 gramas de peso. Já os peixes da G5, apresentaram resposta quadrática ao consumo de ração, reduzindo o consumo até o nível de 1,9454% de lisina e, aumentando com níveis mais elevados de lisina. Além dos efeitos dos níveis da lisina sobre o consumo, verificou-se que os animais da G5 consumiram mais ração em relação aos peixes da G0 ($P < 0,0001$), independentemente do nível de lisina avaliado, sugerindo que, além das diferenças nas taxas de crescimento, o processo de seleção provavelmente contribuiu para a seleção de animais com maior capacidade de consumo de ração.

Embora possa parecer um fator de confusão nas avaliações de níveis de um nutriente para animais com potenciais de crescimento distintos, e ser comumente relatado que animais

de crescimento rápido consomem mais ração do que aqueles de crescimento lento, verificou-se, nesse estudo, que a quantidade de lisina fornecida por ganho de peso vivo (mg g^{-1}) reduziu até os níveis de 1,9525 e 1,9083% para os animais da G0 e G5, respectivamente, e aumentando à medida que foram fornecidos níveis mais elevados de lisina. A menor Lys Ganho^{-1} para a G5 em relação aos animais da G0 pode estar associada às circunstâncias do processo de seleção. Embora não se possa afirmar, é possível que ao selecionar animais para ganho de peso, também foram selecionados indivíduos com mecanismos biológicos que levam a uma maior eficiência no metabolismo da lisina.

Essa hipótese é corroborada com os resultados de Leite et al. (2019) que, ao avaliarem o efeito da interação genótipo x ambiente para tilápia do Nilo da linha GIFT, alimentada com diferentes níveis de lisina, verificaram que a resposta é distinta a diferentes níveis de lisina, com alteração na classificação dos animais quando a seleção é focada no ganho de peso, como na maioria dos programas de seleção. A possível melhoria na eficiência digestiva ou metabólica, é ainda reforçada pelos resultados de CAA, na qual o valor foi 15,19% menor para a G5 em relação à G0 e apresentaram comportamento quadrático ($P < 0,0001$; $R^2=0,7599$) quanto aos níveis de lisina, sendo a necessidade de lisina estimada para a G5 3,55% menor que a estimada para a G0. Assim, além da menor necessidade de consumo de alimento por unidade de peso vivo ganho (2,37 versus 2,01 de CAA para G0 e G5, respectivamente; $P=0,0054$), os peixes da G5 demandam, com base na CAA, uma concentração de lisina na dieta inferior a dos peixes da G0 (2,3083 versus 2,2292% de lisina na dieta, G0 e G5, respectivamente). Esses resultados indicam que a seleção realizada com base no ganho de peso, como critério de seleção, poderá levar a seleção de animais que, além de apresentarem maior taxa de crescimento, possuem um menor consumo de ração e de lisina por unidade de ganho de peso e apresentem uma maior eficiência digestiva e/ou metabólica. Ressaltamos que a escolha de peso e ganho de peso, como variáveis resposta para a sugestão dos níveis de lisina, é devido à maioria dos programas de melhoramento genético de tilápia do Nilo utilizarem o ganho de peso como critério de seleção (Turra et al., 2010) e por haver indicativos de alteração na ordenação dos animais dentro dos programas de seleção de tilápia do Nilo, quando alimentadas com diferentes níveis de lisina na dieta (Leite et al., 2019).

Entre os achados deste estudo, o mais importante não está apenas na diferença de desempenho de crescimento entre os dois materiais genéticos, que indica o ganho de produtividade que os produtores de tilápia poderão obter com o uso de animais que possuem maior potencial de crescimento e que são provenientes de programa de seleção sistematizado. Destaca-se que a necessidade de lisina estimada para ambas as gerações, com base no peso e

ganho de peso de 1 a 28 dias e de 1 a 56 dias de cultivo, foram próximas nos respectivos períodos, sugerindo que, para cada período, um único nível de lisina na dieta sustenta o adequado desenvolvimento dos animais dos dois materiais genéticos de tilápia do Nilo provenientes do Programa de Melhoramento NGTAqua – Escola de Veterinária, sem comprometer o peso e ganho de peso de ambos, até os 56 dias de idade. Ainda, evidenciam o aumento na necessidade de lisina na dieta com o crescimento dos animais, fato este, importante e que precisa de melhor elucidação.

Em conclusão, animais de crescimento rápido (G5) apresentam desempenho superior em 52,77% para ganho de peso até os 56 dias de idade em comparação com o grupo base (G0). Ressalta-se ainda que, além da maior taxa de crescimento, os animais da G5 foram mais eficientes na conversão de alimento em peso corporal, demonstrando a importância dos programas de melhoramento no aumento da eficiência do animal, o que contribui para a sustentabilidade econômica e ambiental da produção animal. Com base no peso e ganho de peso, a necessidade de lisina foi estimada em 2,44% da dieta para peixes de 1 a 28 dias, e de aproximadamente 2,69% da dieta quando considerado o período de 1 a 56 dias de idade. Até o presente momento, com base nas necessidades de lisina, e considerando o intervalo de cinco gerações de seleção, não há necessidade de formulação específica para cada um dos materiais genéticos. Contudo, é imprescindível verificar se esse padrão de resposta é mantido nas demais fases de produção, até os peixes atingirem o peso comercial para abate, assim como a avaliação das necessidades de lisina à medida que os animais se tornem mais eficientes.

Agradecimentos

O trabalho foi apoiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). O projeto foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG, processo APQ - 03788-16).

Referências bibliográficas

Abboudi, T., Mambrini, M., Ooghe, W., Larondelle, Y., Rollin, X., 2006. Protein and lysine requirements for maintenance and for tissue accretion in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fry. *Aquaculture*, 261, 369–383. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.07.041>

- Bomfim, M.A.D., Lanna, E.T.A., Donzele, J.L.D., Quadros, M., Ribeiro, F.B., Sousa, M.P., 2010. Níveis de lisina com base no conceito de proteína ideal em rações para alevinos de tilápia-do-Nilo. R. Bras. Zootec., 39, 1-8. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000100001>
- Bureau, D.P., Encarnação, P.M., 2006. Adequately defining the amino acid requirements of fish: the case example of lysine. In: SIMPOSIUM INTERNACIONAL DE NUTRICIÓN ACUÍCOLA: AVANCES EN NUTRICIÓN ACUÍCOLA, 8., Monterrey. Anais... Monterrey, 29-54.
- Cao, J.M., Chen, Y., Zhu, X., Huang, Y.H., Zhao, H.X., Li, G.L., Lan, H.B., Chen, B., Pan, Q., 2012. A study on dietary l-lysine requirement of juvenile yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco*. Aquac. Nutr., 18, 35-45. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2011.00874.x>
- Cho, C.Y., 1992. Feeding systems for rainbow trout and other salmonids with reference to current estimates of energy and protein requirements. Aquaculture, 100, 107-123. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90353-M](https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90353-M)
- Dumas, A., France, J., Bureau, D., 2010. Modelling growth and body composition in fish nutrition: where have we been and where are we going? Aquaculture Research, 41, 161-181. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02323.x>
- Eknath, A.E., Bentsen, H.B., Gjerde, B., Tayamen, M.M., Abella, T.A., Gjedrem, T., Pullin, R.S.V., 1991. Approaches to national fish breeding programs: pointers from a tilapia pilot study. NAGA: the ICLARM Q, 14, 10-12.
- Eknath, A.E., Hulata, G., 2009. Use and exchange of genetic resources of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Rev. Aquacult., 1, 197-213. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2009.01017.x>
- Forster, I., Ogata, Y., 1998. Lysine requirement of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* and juvenile red sea bream *Pagrus major*. Aquaculture, 161, 131-142.
- Furuya, W.M., Botaro, D., Neves, P.R., Silva, L.C.R., Hayashi, C., 2004. Exigência de lisina pela Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), na fase de terminação. Cienc. Rural 34, 1571-1577.
- Furuya, W.M., Botaro, D., Santos, V.G., 2006. Exigência de lisina digestível para juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). R. Bras. Zootec., 34, 1933-1937. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982006000400001>

- Furuya, W. M., 2010. Tabelas brasileiras para a nutrição de tilápias, GFM, Toledo.
- Furuya, W.M., Michelato, M, Graciano, T.S., Vidal, L.V.O., Xavier, T.O., Furuya, V.R.B, Moura, L.B., 2013. Exigência de lisina digestível para a tilápia-do-Nilo de 87 a 226 g alimentada com dietas balanceadas para a relação arginina:lisina. Semina: Ciênc. Agrár., 34, n. 4, p. 1945-1954. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n4p1945>
- Gatrell, S.K., Silverstein, J.T., Barrows, F.T., Grimmett, J.G., Cleveland, B.M., Blemings, K.P., 2017. Effect of dietary lysine and genetics on growth and indices of lysine catabolism in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquac. Nutr., 23, 917-925. <https://doi.org/10.1111/anu.12459>
- Hauler, R.C., Carter, C.G., 2001. Reevaluation of the quantitative dietary lysine requirements of fish. Rev. Fish. Sci., 9, 133–163. <https://doi.org/10.1080/20016491101735>
- He, J. Y., Tian, L. X., Lemme, A., Gao, W., Yang, H. J., Niu, J., Liang, G., Y., Chen, P. F., Liu, Y. J., 2013. Methionine and lysine requirements for maintenance and efficiency of utilization for growth of two sizes of tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquac. Nutr., 19; 629–640. <https://doi.org/10.1111/anu.12012>
- Hua, K., Suwendi, E., Bureau, D.P., 2019. Effect of body weight on lysine utilization efficiency in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquaculture, 505, 47-53. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.02.030>
- Kaps, M.; Lamberson, W.R., 2004. Biostatistics for animal science. Wallingford: CABI Publishing.
- Lee, S., Small, B.C., Patro, B., Overturf, K., Hardy, R.W., 2020. The dietary lysine requirement for optimum protein retention differs with rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) strain. Aquaculture, 514, 734483. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734483>
- Leite, N.R., Campideli, T.S., Rodriguez-Rodriguez, M.D.P., Pereira, B.M., Ferreira, T.A., Abreu, L.R.A., Fernandes, A.F.A., Turra, E.M., Silva, M.A., Bonafé, C.M., 2019. Genotype x environmental interaction of growth traits to different levels of dietetic lysine for GIFT tilapia. Aquaculture, 499, 364-372. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.09.058>
- Lugert, V., Thaller, G., Tetens, J., Schulz, C., Krieter, J., 2016. A review on fish growth calculation: multiple functions in fish production and their specific application. Rev. Aquacult., 8, 30–42. <https://doi.org/10.1111/raq.12071>

- Michelato, M., Vidal, L.V.O., Xavier, T.O., Moura, L.B., Almeida, F.L.A., Pedrosa, V.B., Furuya, V.R.B., Furuya, W.M., 2016. Dietary lysine requirement to enhance muscle development and fillet yield of finishing Nile tilapia. *Aquaculture*, 457, 124–130. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.02.022>
- Nguyen, L., Davis, D.A., 2016. Comparison of crystalline lysine and intact lysine used as a supplement in practical diets of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 464, 331-339. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.07.005>
- NRC - National Research Council, 2011. Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. National Academy Press, Washington, DC., USA.
- Peixe BR – Associação Brasileira da Piscicultura Anuário Brasileiro da Piscicultura PEIXE BR 2020. São Paulo, SP, Brasil.
- Rampe, M.C.C., 2012. Níveis nutricionais de lisina e metionina+cistina digestíveis para juvenis de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*). Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES (2012), p.74. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias).
- R Core Team, 2016. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. URL <https://www.R-project.org/>
- Santiago, C.B., Lovell, R.T., 1988. Amino acids requirement for growth of Nile tilapia. *Nutrition*, 118, 1540–1546. <https://doi.org/10.1093/jn/118.12.1540>
- Takishita, S.S., Lanna, E. A.T., Donzele, J.L., Bomfim, M.A.D., Quadros, M., Sousa, M.P., 2009. Níveis de lisina digestível em rações para alevinos de tilápia-do-nilo. *R. Bras. Zootec.*, 38, 2099-2105. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009001100004>
- Tacon, A.G.J., Cowey, C.B., 1985. Protein and amino acid requirements. *Fish Energetics: New Perspectives*. Ed. Tytler P. and Calow P. Croom Helm, London. 155-183.
- Teixeira, E.A., Crepaldi, D.V., Faria, P.M.C., Ribeiro, L.P., Melo, D.C., Euler, A.C.C., 2008. Composição corporal e exigências nutricionais de aminoácidos para alevinos de tilápia (*Oreochromis* sp.). *Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.*, 9, 239-246.
- Turra, E.M., Oliveira, D.A.A., Teixeira, E.A., Prado, S.A., Melo, D.C., Sousa, A.B., 2010. Uso de medidas morfométricas no melhoramento genético do rendimento de filé da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Rev. Bras. Reprod. Anim.*, 34, 29-36.

Wilson, R.P., 2003. Amino acid requirements of finfish and crustaceans. In: D'Mello, J.P.F. (Ed.), *Amino acids in animal nutrition* (pp. 427-447). Cambridge: CABI Publishing.

Declaração de interesse

Os autores declaram que não há relacionamentos pessoais ou interesses financeiros concorrentes que possam influenciar o trabalho relatado neste artigo.

Declaração de relevância

O presente estudo mostra que até os 56 dias de cultivo, a necessidade de lisina na dieta é a mesma para tilápias do Nilo com taxas de crescimento distintas, provenientes de um programa de melhoramento genético e com intervalo de cinco gerações de seleção.

Destaques do manuscrito

- 1 - Não há diferença na necessidade de lisina para pós-larvas de tilápia do Nilo com potencial de crescimento diferente até os 56 dias de idade.
- 2 - Pós-larvas de tilápia do Nilo de crescimento rápido apresentam melhor conversão alimentar do que animais de crescimento lento e menor consumo de lisina por unidade de ganho de peso vivo.
- 3 - As respostas de desempenho sugerem o aumento na necessidade de lisina com o desenvolvimento dos animais, de 28 para 56 dias de idade.

Contribuição dos autores

Gabriel Francisco de Oliveira Alves (gfoalves@zootecnista.com.br) - desenho experimental, coleta, análise e interpretação dos dados, preparação do artigo

Lara Quintanilha Goulart (laraqgoulartt@gmail.com) - coleta dos dados e preparação do artigo

Giovanna Viana Ribeiro (ribeirogiovanna071@gmail.com) - coleta dos dados e preparação do artigo

André de Sena Souza (and-senas@hotmail.com) - coleta dos dados e preparação do artigo

Stéphanie Cristine Pereira Assunção (tetecristine1071@gmail.com) - coleta dos dados e preparação do artigo

Ludson Guimarães Manduca (ludson.manduca@gmail.com) - coleta dos dados e preparação do artigo

Stefani Grace da Silva Moraes (stefani.gracesilva@gmail.com) - coleta dos dados e preparação do artigo

Érika Ramos de Alvarenga (erika.ralvarenga@gmail.com) - coleta e interpretação dos dados e preparação do artigo

Eduardo Maldonado Turra (eduardoturra@yahoo.com.br) - coleta e interpretação dos dados e preparação do artigo

Edgar de Alencar Teixeira (edgarvet@hotmail.com) - desenho experimental, interpretação dos dados e preparação do artigo

- CAPÍTULO 4 -

Considerações finais

1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo podem ajudar no direcionamento dos trabalhos de determinação das necessidades de aminoácidos, mais especificamente de lisina, para tilápia do Nilo. Embora juvenis de tilápia do Nilo tenham respondido de maneira similar a diferentes níveis de lisina nas dietas, verificou-se que o consumo de lisina por unidade de ganho de peso metabólico é menor quando se utiliza o conceito da proteína ideal na formulação das dietas para a tilápia do Nilo. Além disso, as respostas de desempenho sugerem que a necessidade de lisina na dieta para juvenis de tilápia do Nilo de 20 a 160 g de peso vivo, esteja abaixo de 1,50%. E, embora juvenis de tilápia do Nilo tenham respondido de maneira semelhante em relação aos níveis de lisina nas dietas, independente da estratégia de formulação adotada, outras reavaliações são necessárias para melhor definição quanto as estratégias, visando a não utilização de aminoácidos em excesso, o que contribuirá econômica e ambientalmente na produção de tilápias.

Os resultados obtidos neste trabalho também contribuem com o melhor entendimento dos avanços obtidos em programas de melhoramento de tilápia do Nilo e seus possíveis impactos e/ou desdobramentos em relação à nutrição e alimentação de peixes de 1 a 56 dias de idade. Entre os resultados, verificou-se que pós-larvas de tilápia do Nilo de crescimento rápido (G5) apresentaram desempenho superior em 51,80 e 52,77% para peso e ganho de peso aos 56 dias de idade em relação aos animais de crescimento lento (G0). Ainda, não há diferença na necessidade de lisina para pós-larvas de tilápia do Nilo com potencial de crescimento diferente até os 56 dias de idade, apresentando as pós-larvas de tilápia do Nilo de crescimento rápido melhor conversão alimentar do que os animais de crescimento lento, e com menor consumo de lisina por unidade de ganho de peso vivo. E, há indícios de que a necessidade de lisina aumenta da fase de 1 a 28 dias para a fase de 29 a 56 dias, baseado nas respostas de desempenho.