

**UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITONHONHA E MUCURI**

**Programa de Pós-Graduação em Zootecnia**

**Namíbia Rizzari Leite**

**SENSIBILIDADE DOS VALORES GENÉTICOS DE TILÁPIAS DO NILO,  
VARIEDADE GIFT, AOS NÍVEIS DE LISINA DIGESTÍVEL DAS DIETAS**

**Diamantina  
2017**

**Namíbia Rizzari Leite**

**SENSIBILIDADE DOS VALORES GENÉTICOS DE TILÁPIAS DO NILO,  
VARIEDADE GIFT, AOS NÍVEIS DE LISINA DIGESTÍVEL DAS DIETAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

Orientador(a): Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cristina Moreira Bonafé  
Coorientador: Prof. Dr. Martinho de Almeida e Silva

**Diamantina  
2017**

Ficha Catalográfica – Serviço de Bibliotecas/UFVJM  
Bibliotecário Anderson César de Oliveira Silva, CRB6 – 2618.

L533s      Leite, Namíbia Rizzari  
Sensibilidade dos valores genéticos de tilápias do Nilo, variedade  
GIFT, aos níveis de lisina digestível das dietas / Namíbia Rizzari Leite.  
– Diamantina, 2017.  
95 p. : il.

Orientador: Cristina Moreira Bonafé  
Coorientador: Martinho de Almeida e Silva

Dissertação (Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Zootecnia) -  
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. 2016.

1. Interação genótipo x ambiente. 2. Herdabilidade.  
3. Melhoramento genético. 4. Modelos de regressão aleatória.  
5. Normas de reação. I. Título. II. Universidade Federal dos Vales do  
Jequitinhonha e Mucuri.

**CDD 639.3**

Elaborado com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

**Namíbia Rizzari Leite**

**SENSIBILIDADE DOS VALORES GENÉTICOS DE TILÁPIAS DO NILO,  
VARIEDADE GIFT, AOS NÍVEIS DE LISINA DIGESTÍVEL DAS DIETAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

Orientador(a): Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cristina Moreira Bonafé  
Coorientador: Prof. Dr. Martinho de Almeida e Silva

Data de aprovação: 16/05/2017

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cristina Moreira Bonafé  
Faculdade de Ciências Agrárias - DZO - UFVJM

---

Prof. Dr. Martinho de Almeida e Silva  
Escola de Veterinária - DZOO - UFMG

---

Prof. Dr. Marcelo Mattos Pedreira  
Faculdade de Ciências Agrárias - DZO - UFVJM

---

Prof. Dr. Eduardo Maldonado Turra  
Escola de Veterinária - DZOO - UFMG

**Diamantina**

Aos meus pais, Socorro e Wilson por todo amor, apoio e incentivo  
Ao meu irmão, Luigi pelo companheirismo e amizade  
Ao professor Aldrin (*in memoriam*) pelos ensinamentos e exemplo de profissional  
Ao professor Martinho, pelo aprendizado e acolhimento  
Aos amigos e família pelo carinho e orações  
Com toda gratidão, amor e carinho,  
DEDICO.

**AGRADECIMENTOS**

A Deus por nunca me faltar! Por me abençoar, me fortalecer e me proteger emocional, mental e fisicamente todos os dias!

À UFVJM e ao Departamento de Zootecnia, pelo apoio e pela oportunidade de realização da graduação e mestrado.

Ao CNPq, à FAPEMIG e à CAPES pelo apoio financeiro ao projeto.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

À Ajinomoto pelo fornecimento dos aminoácidos.

Ao meu eterno orientador professor Aldrin Vieira Pires (*in memoriam*) por todos os ensinamentos, pela dedicação, incentivo, carinho e amizade sempre prestados.

Ao professor Martinho de Almeida e Silva, pelos conhecimentos transmitidos, pela orientação, por toda consideração, atenção, preocupação e paciência mesmo perante todas as dificuldades.

À professora Cristina Bonafé pela orientação, apoio, força e persistência.

À minha dupla Thaiza Campideli, pela companhia, apoio, paciência e amizade que foram imprescindíveis para a realização e conclusão deste trabalho.

Aos membros da banca Eduardo Turra e Marcelo Mattos pela contribuição a este trabalho e pela doação de seu tempo.

À Pilar Rodriguez, pelo apoio, garra, incentivo, amizade e alegria transmitida sempre.

À Luiza Rodrigues por toda ajuda nas análises, pela disponibilidade, compreensão e paciência.

Ao Lúcio Flávio pela boa vontade e eficiência nos esclarecimentos das dúvidas.

Ao professor Guilherme Moura pela ajuda na formulação das dietas.

Ao Thiago Bernardes e Marcos Lagrotta (*in memoriam*) pelo auxílio na instalação das estruturas e ideias.

Aos meus amigos e colegas do Grupo de Melhoramento Animal e da pós-graduação, Lucília, Léo, Rosane, Fran, Talita, Clarisse, Rafa, Aroldo, Thayssa, Carol, Rúbia, Diego, Lorena, Diana, Bruno Max, Hellen, João, Gleydson, Thalles, André, Thiago, Stella e Emilene por toda ajuda nas atividades em dias de sol e chuva, pelos momentos alegres que passamos e por terem sido companheiros fiéis.

Aos funcionários do DZO e do Laboratório de Aquicultura da UFVJM, Elizângela, Geraldo, Julião, Zezinho, Cláudio, Paraguai e Sr. Pedro, pela ajuda, atenção e amizade durante todo o curso e execução do experimento.

À UFMG e aos técnicos Gabriel e Franklin pela disponibilidade e auxílio na fabricação das dietas.

A todos os professores do Departamento de Zootecnia da UFVJM pelo conhecimento ofertado.

Aos meus pais, Nenê e Pachá, pelo amor verdadeiro, pela boa criação e educação, pelo apoio e incentivo mesmo diante das dificuldades, por acreditarem na minha capacidade, pelo consolo nos dias tristes e sorrisos nos dias alegres, pela compreensão, pela fortaleza, honestidade e simplicidade que foram exemplos para que eu me tornasse a pessoa que sou hoje.

Ao meu amigo e irmão Luigi, pelo amor, carinho, ajuda, companheirismo, lealdade e confiança.

À minha família pelo carinho, apoio, incentivo e orações diárias.

Às minhas amigas e companheiras da República Diamantes, Miriele, Bárbara e Mariana, pela força e apoio, pelo respeito, compreensão, carinho, fidelidade, pela convivência harmoniosa, risadas e alegrias vividas diariamente.

Aos verdadeiros amigos de Virginópolis e Diamantina pelas mensagens de apoio e pela torcida!

A todos que não foram mencionados aqui, mas que de alguma forma acrescentaram ao meu conhecimento e contribuíram para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos!

## RESUMO

Esta pesquisa foi realizada com o objetivo de avaliar o efeito da interação genótipo x níveis de lisina digestível das dietas sobre características morfométricas e de desempenho de tilápias do Nilo, variedade GIFT, em fase de crescimento. O experimento foi constituído de duas fases, sendo que na primeira as tilápias foram alimentadas dos 90 aos 150 dias de idade com dietas contendo percentuais de lisina iguais a 1,43, 1,53, 1,63, 1,73 e 1,83 e na segunda fase, dos 151 aos 255 dias, os percentuais de lisina das dietas foram iguais a 1,28, 1,38, 1,48, 1,58 e 1,68. As tilápias foram pesadas dos 90 aos 255 dias de idade com intervalos de aproximadamente 30 dias, foram calculados o ganho de peso total e o ganho de peso diário e, posteriormente, as idades foram ajustadas para 90 e 150 dias na primeira fase, e 185, 220 e 255 dias na segunda fase. As medidas de altura, largura, comprimento de cabeça, comprimento padrão e comprimento total das tilápias foram coletadas aos 150 dias de idade. A partir desses dados, foram calculadas as relações cabeça/comprimento padrão, comprimento padrão/comprimento total e largura/altura. Modelos de regressão aleatória, por meio do modelo animal uni característica, foram utilizados para avaliar a sensibilidade dos valores genéticos aos níveis de lisina digestível das dietas, plotando-se as normas de reação de 25 peixes amostrados aleatoriamente para as diferentes características para demonstrar o padrão de comportamento dos valores genéticos das características ao longo do gradiente ambiental. Foram testados modelos com homogeneidade (1 classe) e heterogeneidade de variância residual (2, 3 e 4 classes). Modelos com heterogeneidade de variância residual foram mais adequados para avaliação genética da maioria das características das tilápias na primeira fase e modelos com homogeneidade de variância residual para a maioria das características de desempenho das tilápias avaliadas na segunda fase. Os valores genéticos das tilápias, em ambas as fases, variaram entre os níveis de lisina estudados para a maioria das características, indicando a presença de interação genótipo x ambiente. No geral, as herdabilidades e variâncias genéticas aditivas variaram de baixas a altas magnitudes. As correlações de Spearman, assim como as normas de reação, indicaram reordenamento dos valores genéticos ao longo do gradiente ambiental, sugerindo a presença de interação genótipo x ambiente. A seleção para desempenho e medidas morfométricas de tilápias GIFT deve ser realizada no nível de lisina da dieta com a qual as tilápias serão alimentadas.

**Palavras-chave:** Interação genótipo x ambiente. Herdabilidade. Melhoramento genético. Modelos de regressão aleatória. Normas de reação.



## ABSTRACT

This research was carried out with the objective of evaluating the effect of genotype x levels of digestible lysine of the diets on morphometric and performance characteristics of Nile tilapia, GIFT variety, in the growing phase. The experiment consisted of two phases, and in the first the tilapia were fed from 90 to 150 days of age diets containing lysine percentages equal to 1.43, 1.53, 1.63, 1.73 and 1.83. In the second phase, from 151 to 255 days, the lysine percentages of the diets were 1.28, 1.38, 1.48, 1.58 and 1.68. Tilapia were weighed from 90 to 255 days of age at intervals of approximately 30 days. Total weight gain and daily weight gain were calculated and, subsequently, were adjusted for 90 and 150 days in the first phase, and 185, 220 and 255 days in the second phase. The measurements of height, width, head length, standard length and total length of tilapias were collected at 150 days of age. From these data, the head / standard length ratios, standard length / total length and width / height ratios were calculated. Single trait random regression models were used in the analyses and the reaction norm plots of 25 randomly sampled fishes were used to demonstrate the sensitivity of breeding values to dietary digestible lysine level. Models with homogeneity (1 class) and heterogeneity of residual variance (2, 3 and 4 classes) were tested. Models considering heterogeneity of residual variance were more adequate for genetic evaluation of most of the characteristics of tilapia in the first phase and models considering homogeneity of residual variance for most of the performance characteristics of tilapia evaluated in the second phase. The breeding values of tilapia, in both phases, varied among the lysine levels studied for most of the traits, indicating the presence of genotype x environment interaction. In general, heritabilities and additive genetic variances varied from low to high magnitude. Spearman correlations, as well as the reaction norms, suggested rearrangement of breeding values along the environmental gradient, again indicating the presence of genotype x environment interaction. The selection for performance and morphometric traits of tilapia GIFT strain should be performed at the lysine level of the diet with which the tilapia will be fed.

**Keywords:** Interaction genotype x environment. Heritability. Genetic improvement. Random regression models. Reaction norms.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>15</b>
2.1	Nutrição, proteína ideal e lisina.....	15
2.2	Interação genótipo x ambiente.....	16
2.3	Modelos de regressão aleatória.....	18
2.4	Normas de reação.....	19
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>21</b>
	<b>ARTIGO 1.....</b>	<b>25</b>
	<b>RESUMO.....</b>	<b>25</b>
	<b>ABSTRACT.....</b>	<b>26</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>27</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>29</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>37</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>55</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>55</b>
	<b>ARTIGO 2.....</b>	<b>59</b>
	<b>RESUMO.....</b>	<b>59</b>
	<b>ABSTRACT.....</b>	<b>60</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>61</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>63</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>71</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>89</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>89</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Em virtude do aumento da população e da busca dos consumidores por alimentos mais saudáveis, houve um incremento considerável da demanda mundial por pescado nas últimas décadas (BRABO *et al.*, 2016). Diante disso, a aquicultura surge como a alternativa mais viável para dar continuidade ao aumento da oferta nos próximos anos, visto que a produção por meio da pesca encontra-se estabilizada desde 1990 (FAO, 2014).

A tilápia há anos está entre as principais espécies de peixe cultivadas no Brasil, e segundo a Pesquisa Pecuária Municipal, feita pelo IBGE, continua sendo a espécie mais cultivada, com 219.329 toneladas despescadas em 2015, o que representa 45,4% do total da despesca nacional, com aumento de 9,7% em relação ao ano anterior. A tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) se destaca por sua rusticidade, crescimento acelerado e adaptação ao confinamento (HAYASHI, 1995), além de se adequar à indústria de filetagem, devido à ausência de espinhos musculares em forma de “Y” e ter ótima aceitação no mercado consumidor pelas características organolépticas de seu filé (MEURER; HAYASHI; BOSCOLO, 2003).

No ano de 2005 foi introduzida no Brasil a tilápia do Nilo variedade GIFT (*Genetic Improvement of Farmed Tilapias*), em parceria com o *WorldFish Center*, na Malásia, e a Universidade Estadual de Maringá (LUPCHINSKI JÚNIOR *et al.*, 2008) onde se iniciaram os programas de melhoramento da linhagem GIFT no país.

O princípio do melhoramento genético animal consiste em estimar parâmetros genéticos precisos para escolher de forma acurada os indivíduos geneticamente superiores que irão compor o plantel de reprodução (YOSHIDA *et al.*, 2013b). Contudo, devido à diversidade de ambientes de criação e sistemas de produção existentes, surgiu a necessidade de estimar os valores genéticos dos animais em ambientes distintos para verificar a presença e o grau de interferência deste ambiente sobre os genes das espécies em estudo, denominada interação genótipo x ambiente, comumente avaliada por meio de correlações genéticas.

Os modelos de normas de reação também são uma forma de avaliar esta interação genótipo x ambiente, pois permitem identificar os indivíduos mais sensíveis e mais robustos às mudanças ambientais, já que atribuem a cada animal dois coeficientes de regressão aleatórios (intercepto e inclinação da reta) por meio de uma função de covariância, permitindo estimar o valor genético em função do gradiente

ambiental (RODRIGUES, 2012). Dessa forma, é possível prever a resposta à seleção da característica em estudo considerando sempre a interação genótipo x ambiente (DE JONG; BIJMA, 2002; SANTANA *et al.*, 2015).

Em razão do elevado crescimento na produção de tilápias e da importância em otimizar a produção e melhorar os índices zootécnicos, há necessidade de se realizarem pesquisas que avaliem o potencial genético de tilápias em diferentes condições ambientais, bem como nutricionais

Diante deste contexto, o presente estudo foi realizado com o propósito de avaliar o efeito da interação genótipos x níveis de lisina digestível sobre características de desempenho e morfométricas em tilápias do Nilo, variedade GIFT.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Nutrição, proteína ideal e lisina

Em decorrência do aumento do interesse na criação de tilápias, mais pesquisas sobre a melhoria genética da espécie, juntamente com a nutrição, são necessárias para a obtenção de melhores índices zootécnicos, viabilidade econômica e ganhos significativos na produção.

Uma dieta adequada às exigências nutricionais é imprescindível para se alcançar o potencial produtivo desejado de uma espécie (MEURER *et al.*, 2002). As espécies aquáticas são altamente exigentes em proteína, o que requer alta inclusão de ingredientes proteicos nas dietas, elevando seu custo (BOSCOLO *et al.*, 2008). Em sistemas de cultivos mais intensivos de peixes, as dietas podem ser responsáveis por até 70% dos custos de produção, daí a sua alta importância econômica.

Segundo Pezzato (1999), o nutriente considerado mais importante em uma dieta é a proteína, pois ela é parte dos componentes do organismo animal em crescimento, e o perfil de aminoácidos é decisivo para a sua qualidade, além de determinar seu valor como componente da dieta. Daí a grande necessidade de formular dietas com base no perfil aminoacídico e de acordo com as exigências da espécie em cada fase de criação (FURUYA; HAYASHI; FURUYA, 1996). Essa prática, além de promover melhor aproveitamento dos nutrientes pelas espécies, reduz tanto a falta quanto o excesso de proteína nas dietas, minimizando a deficiência nutricional, desperdícios, gastos e a poluição do meio principalmente pelo nitrogênio excretado.

A farinha de peixes era muito utilizada nas dietas pelo seu elevado teor de proteína, mas em razão do seu alto custo, começou a ser substituída por fontes alternativas de proteínas. Ingredientes de origem vegetal, por seu baixo custo e disponibilidade no mercado, passaram a ser utilizados, porém esses ingredientes apresentam limitação em alguns aminoácidos (FURUYA *et al.*, 2004).

De acordo com Wilson e Poe (1985), os peixes não possuem uma exigência por proteína bruta exata, e sim uma exigência pelo balanceamento adequado de aminoácidos essenciais e não essenciais. Os aminoácidos sintéticos começaram então a ser utilizados para suplementar as proteínas das dietas possibilitando a elaboração de dietas com melhor balanceamento de aminoácidos (FURUYA *et al.*, 2005).

Pesquisadores já haviam alertado que deficiências em aminoácidos essenciais podem reduzir a utilização da proteína, baixar a eficiência alimentar e a taxa de ganho de peso diário e ainda diminuir a resistência às doenças, por comprometerem o sistema imunológico (PEZZATO *et al.*, 2004).

Dessa forma, o conceito de proteína ideal começou a ser utilizado na formulação de dietas, a fim de atender às exigências nutricionais das espécies e diminuir o impacto no ecossistema por meio da redução de nutrientes excedentes no meio aquático (HALVER; HARDY, 2002; HENRY-SILVA; CAMARGO; PEZZATO, 2006).

O conceito de proteína ideal é definido como o balanceamento adequado de aminoácidos digestíveis de forma a atender as exigências em aminoácidos essenciais e não essenciais para manutenção e/ou a máxima produção da espécie, onde cada aminoácido essencial deve ser expresso em relação a um aminoácido referência (PARSON; BAKER, 1994). Dentre os aminoácidos essenciais a lisina é exigida em elevada quantidade nas dietas, pois está altamente presente no tecido muscular dos peixes (FURUYA *et al.*, 2004).

Logo, a lisina foi determinada como aminoácido referência, por ser utilizada exclusivamente para a síntese de proteína corporal, pelo grande número de informações sobre suas exigências, por ser altamente encontrada na forma sintética, pela rapidez de sua análise e pelo seu baixo custo (FURUYA *et al.*, 2005).

Contudo, há evidências de que os aminoácidos sintéticos, quando em excesso nas dietas, não são tão bem aproveitados pelo organismo do peixe, como os aminoácidos presentes em “proteínas intactas” (ZARATE; LOVELL, 1997). Isso pode ser explicado pela diferença na velocidade da síntese proteica, entre os dois tipos de aminoácidos, pelos tecidos especializados (DABROWSKI; LEE; RINCHARD, 2003).

Alguns autores demonstraram que a absorção dos aminoácidos sintéticos pode ser melhorada fracionando em mais vezes o fornecimento da dieta, permitindo que esses nutrientes estejam disponíveis para a síntese durante o decorrer do dia, sem influenciar no desenvolvimento do peixe. Desse modo, a excreção de nitrogênio é reduzida e a eficiência em ganho de peso aumentada (YAMAMOTO; SUGITA; FURUITA, 2005; FURUYA *et al.*, 2005; TAKISHITA *et al.*, 2009).

## **2.2 Interação genótipo x ambiente**

Apesar dos grandes avanços em pesquisas com a nutrição de diversas espécies de peixes, o mesmo não acontece com estudos sobre o melhoramento genético, que tem progredido pouco, apesar do alto potencial de ganho genético das espécies aquícolas (OLIVEIRA *et al.*, 2015).

A importância em realizar pesquisas que avaliem a interação genótipo x ambiente (GxA), se deve ao fato delas demonstrarem se os genótipos desenvolvidos por meio de seleção mantêm o mesmo desempenho quando submetidos à diferentes sistemas de criação, níveis nutricionais, regiões geográficas, ou mesmo se os filhos de reprodutores selecionados teriam o mesmo desempenho em ambiente diferente que o de seus progenitores.

Quando a interação GxA não é devidamente identificada, implica na predição viesada dos valores genéticos, com conseqüente redução do progresso genético (CARDOSO, 2009).

Uma vez que a expressão fenotípica do animal é influenciada pelo genótipo, pelo ambiente e pela interação entre ambos, avaliações nos animais em ambientes distintos são necessárias para validar a eficácia do processo de seleção.

Vários autores afirmaram que correlações genéticas menores que 1,0 (FALCONER, 1952), 0,8 (ROBERTSON, 1959) ou 0,61 (MULDER *et al.*; 2006), indicam que, além da presença de interação GxA, a seleção deva ser realizada em ambiente similar ao que será utilizado para a criação da progênie, permitindo que a progênie tenha o mesmo desempenho dos reprodutores selecionados (TURRA *et al.*, 2016).

Pesquisa realizada por Oliveira *et al.* (2013) para avaliar a ocorrência de interação genótipo x ambiente no peso vivo em tilápias do Nilo, variedade GIFT, em dois municípios, indicou a presença de interação GxA, sugerindo assim que os peixes selecionados devem ser utilizados nas mesmas regiões em que foram avaliados.

Mais recentemente autores mostraram, por meio de uma revisão quantitativa feita com 38 espécies da aquicultura que a ocorrência de interação GxA gera uma reclassificação dos genótipos em ambientes diferentes. Isto significa que a correlação genética medida na mesma característica em diferentes ambientes e a sensibilidade ao micro-ambiente leva a uma mudança na variância ambiental de uma característica. Tais fatores indicam a necessidade de estudos mais aprofundados sobre interação GxA em características e espécies de importância econômica (SAE-LIM *et al.*, 2015).

Vários estudos foram realizados avaliando a presença e o grau de interação GxA e estimativas de parâmetros genéticos em tilápias. Já foram avaliados alevinos cultivados em hapas em tanques distintos (CHARO-KARISA *et al.*, 2006), peso de tilápias criadas em água doce e salobra (LUAN *et al.*, 2008), em viveiros e tanques-rede (BENTSEN *et al.*, 2012) e mediadas morfométricas de tilápias em diferentes idades (YOSHIDA *et al.*, 2013a) e em todos estes foram encontradas correlações genéticas menores que 0,7, o que ressalta a importância da avaliação e seleção dos animais de acordo com o ambiente em que serão cultivados.

Apesar dos numerosos estudos sobre a interação GxA em espécies de peixes, ainda é difícil traçar uma linha geral sobre a magnitude dessa interação que leva a tomar a decisão de quando implantar programas de criação separados para cada ambiente ou um único programa de melhoramento para todos ambientes (JAMES, 2009).

### **2.3 Modelos de regressão aleatória**

Em um programa de seleção, um dos pontos mais importantes para garantir os ganhos genéticos é identificar os animais com maiores valores genéticos aditivos para características consideradas no critério de seleção. Tais valores são preditos a partir dos fenótipos dos animais, e quanto menor a acurácia desta predição, menor a possibilidade de escolha dos indivíduos com maior valor genético e menores serão os ganhos genéticos em um programa de seleção (TURRA, 2010).

Para que a predição dos valores genéticos aditivos seja acurada depende da utilização correta das observações coletadas, da escolha de modelos estatísticos e de metodologias adequadas (VALENTE *et al.*, 2008).

Em modelos gerais de regressão, simples ou múltiplos, os coeficientes são fixos, pois os mesmos coeficientes de regressão estão associados a todos os indivíduos da população em estudo (CARDOSO, 2009). Em contrapartida, existem modelos que sugerem, com relação à associação dos coeficientes de regressão e às covariáveis, que cada indivíduo possui distribuição aleatória, e tais modelos são denominados modelos de regressão aleatória (RESENDE; REZENDE; FERNANDES, 2001).

Segundo Meyer (2003), ao se utilizar modelos de regressão aleatória para avaliar características descritas por função contínua, tem-se maior acurácia comparada às dos modelos de repetibilidade e multicaracterísticas.



Os modelos de regressão aleatória têm revelado mais apropriados nas análises de dados em melhoramento genético, por ajustarem as medidas repetidas no mesmo indivíduo para características que se alteram gradualmente e de forma contínua, ao longo do tempo, ou seja, são mais adequados para estudo de características longitudinais (como peso e medidas morfométricas) na avaliação de animais de interesse zootécnico (MEYER, 2000).

Inicialmente, nas avaliações genéticas de dados longitudinais, não era considerada a possibilidade das estruturas de covariância, correlação e herdabilidade serem heterogêneas em diferentes ambientes. Ao se utilizar coeficientes de regressão aleatória como critério de seleção é imprescindível levar em consideração a existência de comportamentos distintos de um mesmo genótipo em ambientes diferentes, uma vez que a incorreta predição de valores genéticos levaria a diferentes resultados e ganhos genéticos diferenciados para cada ambiente (VALENTE *et al.*, 2008).

O estudo deste tipo de modelo tem como princípio ajustar uma curva de regressão fixa, que represente a tendência média da população, e mais duas equações de regressão aleatórias, uma relativa aos efeitos genéticos aditivos e a outra relacionada aos efeitos de ambiente permanente (ALBUQUERQUE, 2004). A curva que representa o valor genético de cada animal é predita como um desvio da curva fixa (média), onde os coeficientes de regressão para cada indivíduo distribuem-se ao redor dos coeficientes de regressão médios (DA GAMA; MATOS; CAROLINO, 2004).

## **2.4 Normas de reação**

Há alguns anos a regressão aleatória passou a ser aplicada em análises de variáveis ambientais longitudinais, com o conceito de norma de reação (DE JONG; BIJMA, 2002; KOLMODIN *et al.*, 2002), isto, devido ao conjunto de fenótipos que podem ser produzidos por um indivíduo quando um genótipo é exposto à diferentes condições ambientais (SCHMALHAUSEN, 1949).

Os modelos de regressão aleatória são utilizados para a predição das normas de reação, pois, consideram as características como funções contínuas de um gradiente ambiental, como, por exemplo, diferentes níveis de aminoácidos da dieta (VELOSO, *et al.* 2015).

É possível avaliar as diferenças na sensibilidade dos valores genéticos por meio da norma de reação, que é explicada como uma mudança sistemática na

expressão média de uma característica fenotípica que ocorre em resposta à mudança sistemática de uma variável ambiental (DE JONG, 1990).

O modelo de norma de reação permite também identificar os indivíduos mais sensíveis e mais robustos às mudanças ambientais e, assim, predizer a resposta à seleção na sensibilidade ambiental da característica em estudo. (DE JONG; BIJMA, 2002; SANTANA *et al.*, 2015).

Genótipos que expressam alta variabilidade fenotípica entre diferentes ambientes são denominados plásticos; enquanto genótipos que expressam variabilidade fenotípica baixa, denominam-se robustos (CARDOSO, 2009). A plasticidade fenotípica está relacionada com a interação GxA, e se diferentes genótipos possuem diferentes normas de reação, então há ocorrência de interação GxA (DE JONG; BIJMA, 2002).

Uma vez que os parâmetros genéticos são estimados em um gradiente ambiental, a interação GxA pode ser mais precisamente identificada com base nas correlações genéticas entre pontos distintos presentes no eixo da variável ambiente ou pelo não paralelismo nas estimativas das normas de reação (PÉGOLO *et al.*, 2009), obtidas por meio de funções de covariância via modelos de regressão aleatória, para cada indivíduo avaliado (KIRKPATRICK; LOFSVOLD; BULMER, 1990). Dessa forma é possível identificar os genótipos de melhor desempenho em cada extrato do gradiente ambiental (CARDOSO, 2009).

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, L. G. Regressão aleatória: nova tecnologia pode melhorar a qualidade das avaliações genéticas. In: Simpósio da Sociedade Brasileira de Melhoramento Animal, 2004, Pirassununga. **Anais...** Pirassununga: SBMA, 2004. Disponível em: <http://www.sbmaonline.org.br/anais/v/palestras/palest11.pdf>. Acesso em: dez. 2016.
- BENTSEN, H. B. *et al.* Genetic improvement of farmed tilapias: genetic parameters for body weight at harvest in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) during five generations of testing in multiple environments. **Aquaculture**, v.338-341, p.56-65, 2012.
- BOSCOLO, W. R. *et al.* Composição química e digestibilidade aparente da energia e nutrientes da farinha de resíduos da indústria de filetagem de tilápias, para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Ciência Rural**, v.38, p.2579-2586, 2008.
- BRABO, M. F. *et al.* Cenário atual da produção de pescado no mundo, no Brasil e no estado do Pará: ênfase na aquicultura. **Acta of Fisheries and Aquatic Resources**, v.4 n.2, p.50-58, 2016
- CARDOSO, L. L. Modelos de normas de reação para estudo da interação genótipo x ambiente. 2009. 68 p. **Dissertação** (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: 2009.
- CHARO-KARISA, H. *et al.* Heritability estimates and response to selection for growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in low-input earthen ponds. **Aquaculture**, v.261, p.479-486, 2006.
- DABROWSKI, K.; LEE, K.; RINCHARD, J. The smallest vertebrate, teleost fish, can utilize synthetic dipeptide-based diets. **Journal Nutrition**, v.133, p.4225-4229, 2003.
- DA GAMA, L.T., MATOS, C.P., CAROLINO, N. Modelos Mistos em Melhoramento Animal. DGV. **Arquivos Veterinários**, p.281, 2004.
- DE JONG, G. Quantitative genetics of reaction norms. **Journal of Evolutionary Biology**, v.3, p.447-468, 1990.
- DE JONG, G.; BIJMA, P. Selection and phenotypic plasticity in evolutionary biology and animal breeding. **Livestock Production Science**, v.78, p.195-214, 2002.
- FALCONER, D. S. The problem of environment and selection. **The American Naturalist**, v.86, n.830, p.293-298, 1952.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The state of world fisheries and aquaculture: opportunities and challenges**. Roma: FAO, 2014.
- FURUYA, W. M.; HAYASHI, C.; FURUYA, V. R. B. Exigência de proteína para machos revertidos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.), na fase juvenil. **Unimar**, v.18, n.2, p.307-319, 1996.

FURUYA, W. M. *et al.* Exigência de lisina pela tilápia do Nilo na fase de terminação. **Ciência Rural**, v.34, n.5, p.1571-1577, 2004.

FURUYA, W. M. *et al.* Aplicação do conceito de proteína ideal para redução dos níveis de proteína em dietas para tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.5, p.1433-1441, 2005.

HALVER, J.E.; HARDY, R.W. **Fish Nutrition**. Washington: Academic Press, p.755-769, 2002.

HAYASHI, C. Breves considerações sobre as tilápias. In: RIBEIRO, R.P., HAYASHI, C., FURUYA, W.M. (Eds.) **Curso de piscicultura - Criação racional de tilápias**, p.4, 1995.

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M.; PEZZATO, L. E. Digestibilidade aparente de macrófitas aquáticas pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e qualidade da água em relação às concentrações de nutrientes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.3, p.641-647, 2006.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2015. Disponível em: <http://www.panoramadaaquicultura.com.br/novosite/?p=6342>. Acesso em: 15 dez. 2015.

JAMES, J. W. Genotype by environment interaction in farm animals, p151. In: van der Werf, Julius, Graser, Hans-Ulrich, Frankham, Richard, Gondro, Cedric (Eds.), **Adaptation and Fitness in Animal Population: Evolutionary and Breeding Perspectives on Genetic Resource Management**. Springer, Netherlands, 2009.

KIRKPATRICK, M.; LOFSVOLD, D.; BULMER, M. Analysis of the Inheritance, Selection and Evolution of Growth Trajectories. **Genetics**, v. 124, p. 979–993, 1990.

KOLMODIN, R. *et al.* Genotype by environment interaction in Nordic dairy cattle studied using reaction norms. **Acta Agriculturae Scandinavica Section A-Animam Science**, v.52, n.1, p.11-24, 2002.

LUAN, T. D. *et al.* Genotype by environment interaction for harvest body weight and survival of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in brackish and fresh water ponds. **In: International Symposium on Tilapia in Aquaculture**, v.1, p.231–240, 2008.

LUPCHINSKI JR, E. *et al.* Avaliação da variabilidade das gerações G0 e F1 da linhagem GIFT de tilápiado- nilo (*Oreochromis niloticus*) por RAPD. **Acta Scientiarum. Animal Science**, v.30, p.233–240, 2008.

MEURER, F. *et al.* Lipídeos na alimentação de alevinos revertidos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.2, p.566-573, 2002.

MEURER, F.; HAYASHI, C.; BOSCOLO, W. R. Digestibilidade Aparente de Alguns Alimentos Protéicos pela Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.6, p.1801-1809, 2003.

MEYER, K. Random regressions to model phenotypic variation in monthly weights of Australian beef cows. **Livestock Production Science**, v.65, n.2, p. 19-38, 2000.

MEYER, K. Scope for a random regression model in genetic evaluation of beef cattle for growth. **Livestock Production Science**, v.86, n.3, p.69-83, 2003.

MULDER, H. A. *et al.* Optimization of dairy cattle breeding programs for different environments with genotype by environment interaction. **Journal of Dairy Science**, v.89, p.1740–1752, 2006.

OLIVEIRA, S. N. *et al.* Interação genótipo x ambiente para peso vivo em Tilápias (*Oreochromis niloticus*), variedade GIFT. In: Simpósio Brasileiro de Melhoramento Animal, 2013, Uberaba, MG. **Anais...** Uberaba, SBMA, 2013.

OLIVEIRA, C. A. L. *et al.* Avaliação genética de tilápias do Nilo durante cinco anos de seleção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, n.10, p.xxxx-xxxx, 2015.

PARSON, C. M.; BAKER, D. H. The concept and use of ideal proteins in the feeding nonruminants. In: Simpósio Internacional de Produção de Não-ruminantes, 1994, Maringá, PR. **Anais...** Maringá, SBZ, p.119-128, 1994.

PÉGOLO, N. T. *et al.* Genotype by environment interaction for 450-day of Nelore cattle analyzed by reaction norm models. **Genetics and Molecular Biology**, v.32, n.2, p.281-287, 2009.

PEZZATO, L. E. Alimentação de peixes - Relação custo e benefício. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 34, 1999, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Zootecnia, p.109-118, 1999.

PEZZATO, L. E. *et al.* (Ed.) **Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva**. São Paulo: tecArt, p.75-169, 2004.

RESENDE, M. D. V.; REZENDE, G. D. S. P.; FERNANDES, J. S. C. Regressão aleatória e funções de covariância na análise de medidas repetidas. **Revista de Matemática e Estatística**, São Paulo, v.19, p.21-40, 2001.

ROBERTSON, A. The sampling variance of the genetic correlation coefficient. **Biometrics**, v.15, n.3, p.469–485, 1959.

RODRIGUES, D.T. **Interação genótipos ambientes em animais via modelos de normas de reação**. 2012. Dissertação (Estatística Aplicada e Biometria) UFV, Viçosa: 2012.

SAE-LIM, P. *et al.* A review of genotype-by-environment interaction and micro-environmental sensitivity in aquaculture species. **Aquaculture**, v.8, p.369–393, 2015.

SANTANA, M. L. *et al.* Multi-trait linear reaction norm model to describe the pattern of phenotypic expression of some economic traits in beef cattle across a range of environments. **Journal of Applied Genetics**, v. 56, p. 219-229, 2015.

SCHMALHAUSEN, I. I. Factors of Evolution: The Theory of Stabilizing Selection. **The Blakiston Company**, Philadelphia, p.327, 1949.

TAKISHITA, S. S. *et al.* Níveis de lisina digestível em rações para alevinos de tilápia-do-nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v38, p.2099-2105, 2009.

TURRA, E. M. Uso de medidas morfométricas no melhoramento genético do rendimento de filé da tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*). 2010. 67 p. **Tese** (Doutorado em Zootecnia) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte: 2010.

TURRA, E. M. *et al.* Genotype x environment interaction for growth traits of Nile tilapia in biofloc technology, recirculating water and Cage systems. **Aquaculture**, v.460, p.98-104, 2016.

VALENTE, B. D. *et al.* Estruturas de covariância de peso em função da idade de animais nelore das regiões sudeste e centro-oeste. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.60, p.389–400, 2008.

VELOSO, R. C. *et al.* Modelos de norma de reação para estudo das características de qualidade da carne de codornas de corte em função das razões (metionina + cistina): lisina da dieta. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.67, n.5, p.1438-1448, 2015.

WILSON, R. P.; POE, W. E. Relationship of whole body and egg essential amino acid patterns to amino acid requirement patterns in channel catfish, *Ictalurus punctatus*. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v.80B, n.2, p.385-388, 1985.

YAMAMOTO, T.; SUGITA, T.; FURUITA, H. Essential amino acid supplementation to fish meal-based diets with low protein to energy ratios improves the protein utilization in juvenile rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. **Aquaculture**, v.246, n.1-4, p.379-391, 2005.

YOSHIDA, G. M. *et al.* Resposta à seleção de características de desempenho e morfométricas de tilápia-do-nilo ao longo do período de cultivo. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.65, n.6, p.1815-1822, 2013a.

YOSHIDA, G. M. *et al.* Associação entre características de desempenho de tilápia-do-nilo ao longo do período de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, n.8, p.816-824, 2013b.

ZARATE, D. D.; LOVELL, R. T. Free lysine (L-lysine.HCl) is utilized for growth less efficiently than protein-bound lysine (soybean meal) in practical diets by young channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **Aquaculture**, v.159, p.87-100, 1997.

## ARTIGO 1

### SENSIBILIDADE DOS VALORES GENÉTICOS DE TILÁPIAS GIFT EM FUNÇÃO DOS NÍVEIS DIETÉTICOS DE LISINA DIGESTÍVEL AOS 150 DIAS DE IDADE

#### RESUMO

O estudo foi realizado a fim de avaliar a interação genótipo x níveis de lisina digestível das dietas em características morfométricas e de desempenho de tilápias do Nilo, variedade GIFT, aos 150 dias de idade. Vinte e seis famílias de irmãos completos deram origem a 700 tilápias, de ambos os sexos, que foram identificadas por *microchip* e distribuídas em cinco tratamentos com sete repetições cada. Os tratamentos consistiram de cinco níveis de lisina digestível (1,43, 1,53, 1,63, 1,73 e 1,83%) adequados para a idade. Foram medidos o peso vivo, altura, largura, comprimento da cabeça, comprimento padrão, comprimento total e calculados o ganho de peso total, o ganho de peso diário, relação cabeça/comprimento padrão, comprimento padrão/comprimento total e largura/altura de todos os indivíduos. Foram testados modelos com homogeneidade (1 classe) e heterogeneidade (2, 3 e 4 classes) de variância residual por meio do BIC e da probabilidade do modelo. Foram calculadas as variâncias aditivas, de família e herdabilidades. Os valores genéticos foram obtidos e a sensibilidade avaliada por meio de correlações genéticas, modelos de normas de reação e correlação de Spearman que permitem identificar a presença e magnitude da interação genótipo x ambiente no gradiente nutricional estudado. Modelos de regressão aleatória que consideram heterogeneidade de variância residual são mais adequados para descrever a sensibilidade de valores genéticos de características de desempenho e morfométricas de tilápias GIFT aos 150 dias de idade alimentadas com dietas contendo diferentes níveis de lisina. As correlações genéticas e as normas de reação indicaram a presença de interação genótipo x níveis de lisina para a maioria das características avaliadas. As predições dos valores genéticos para desempenho e medidas morfométricas de tilápias GIFT em fase de crescimento devem ser realizadas no nível de lisina da dieta com a qual as tilápias serão alimentadas.

**Palavras-chave:** *Oreochromis niloticus*. Medidas morfométricas. Interação genótipo x ambiente. Normas de reação.





## ARTICLE 1

### SENSITIVITY OF BREEDING VALUES OF TILAPIAS GIFT IN FUNCTION OF DIETARY LEVELS OF DIGESTIBLE LYSINE AT 150 DAYS OF AGE

#### ABSTRACT

The study was carried out to evaluate the interaction of genotype x levels of digestible lysine of diets in morphometric and performance characteristics of Nile tilapia, GIFT variety, at 150 days of age. A total of 700 tilapia of both sexes from twenty-six full sib families microchip identified were randomly distributed in five treatments and seven replicates. The treatments consisted of five levels of digestible lysine (1.43, 1.53, 1.63, 1.73 and 1.83) suitable for the age. Live body weight, height, width, head length, standard length, total length were measured and total weight gain, daily weight gain, ratio head / standard length, standard length / total length and width / height were calculated. We tested models considering homogeneity (1 class) and heterogeneity (2, 3 and 4 classes) of residual variance using BIC and model probability. The additive, family and heritability variances were calculated. The breeding values were obtained and their sensitivity was evaluated by means of genetic correlations, reaction norms models and correlation of Spearman that allow to identify the presence and magnitude of the genotype x environment interaction in the studied nutritional gradient. Random regression models considering heterogeneity of residual variance best described the sensitivity of breeding values of performance and morphometric traits of tilapia GIFT strain at 150 days of age fed diets containing different levels of lysine. Genetic correlations and reaction norms indicated the presence of genotype x lysine levels interaction for most of the evaluated traits. The predictions of breeding values for performance and morphometric traits of growing tilapia GIFT strain should be performed at the digestible lysine level of the diet with which the tilapia will be fed.

**Keywords:** *Oreochromis niloticus*. Morphometric measurements. Genotype x environment interaction. Reaction norms.



## 1 INTRODUÇÃO

Em peixes, as exigências nutricionais variam de acordo com a capacidade em aproveitar o alimento fornecido ou existente no meio (PEZZATO *et al.*, 2004). Segundo Wilson e Poe (1985), os peixes não possuem uma exigência específica por proteína bruta, mas sim uma exigência pelo adequado balanceamento dos aminoácidos essenciais e não essenciais. Com base nisso as dietas começaram a ser formuladas, a partir do conceito de proteína ideal, que é definido como o balanceamento exato de aminoácidos de forma a atender os requerimentos para manutenção e produção, desde que cada aminoácido essencial seja expresso em relação a um aminoácido de referência, a lisina (FURUYA *et al.*, 2005).

Deficiências em aminoácidos essenciais podem causar diminuição na utilização da proteína, queda na taxa de ganho de peso diário e da eficiência alimentar de outros nutrientes, além de comprometer o sistema imunológico causando redução da resistência às doenças (PEZZATO *et al.*, 2004).

Por ser um aminoácido indispensável encontrado em alta concentração na composição corpórea, por seu baixo custo, facilidade de análise, além de ser o primeiro aminoácido limitante em algumas fontes proteicas, a determinação da exigência de lisina nas dietas tem sido priorizada na nutrição de peixes (FURUYA *et al.*, 2004; FURUYA *et al.*, 2005; ROLLIN *et al.*, 2003).

Paralelo à nutrição é imprescindível estudar a genética dos peixes e sua alteração a fim de acompanhar sua evolução e explorar seu potencial genético nos diversos climas e formas de cultivo existentes no Brasil, visando ao aumento e à melhoria da produtividade. A avaliação da interação entre genética e nutrição, conceitualmente definida como interação genótipo x ambiente é de extrema importância, pois, dependendo da magnitude desta, o desempenho de um animal ou a expressão de um genótipo em um ambiente pode ser diferente se o animal mudar de ambiente (KOLMODIN *et al.*, 2002), possibilitando determinar as condições adequadas para que uma espécie expresse seu potencial genético. Ou seja, um genótipo pode ser superior em um ambiente, mas não ser em outro.

Os modelos de regressão aleatória têm sido propostos como alternativa para análise genética de dados longitudinais, pois ajustam, para cada indivíduo, curvas de crescimento aleatórias e geram estruturas de variâncias e covariâncias entre as diferentes mensurações por meio de funções de covariância para os efeitos aleatórios

de interesse (SARMENTO, *et al.*, 2010). Dentre as formas utilizadas para avaliar a interação genótipo x ambiente destaca-se a norma de reação por meio de modelos de regressão aleatória, que permite atribuir a cada animal dois coeficientes de regressão aleatórios (intercepto e inclinação) por meio de funções de covariâncias que possibilitam prever, comparar os valores genéticos dos animais e estimar variâncias genéticas para qualquer ponto dentro dos limites da amplitude do gradiente ambiental estudado (KOLMODIN *et al.*, 2002; SANTOS *et al.*, 2008; RODRIGUES, 2012).

Diante disso, objetivou-se com este estudo comparar modelos de regressão aleatória com diferentes classes de variância residual e avaliar, aos 150 dias de idade, a sensibilidade dos valores genéticos das características de desempenho e morfométricas de tilápias do Nilo, variedade GIFT, aos níveis de lisina digestível das dietas, utilizando modelos de normas de reação.

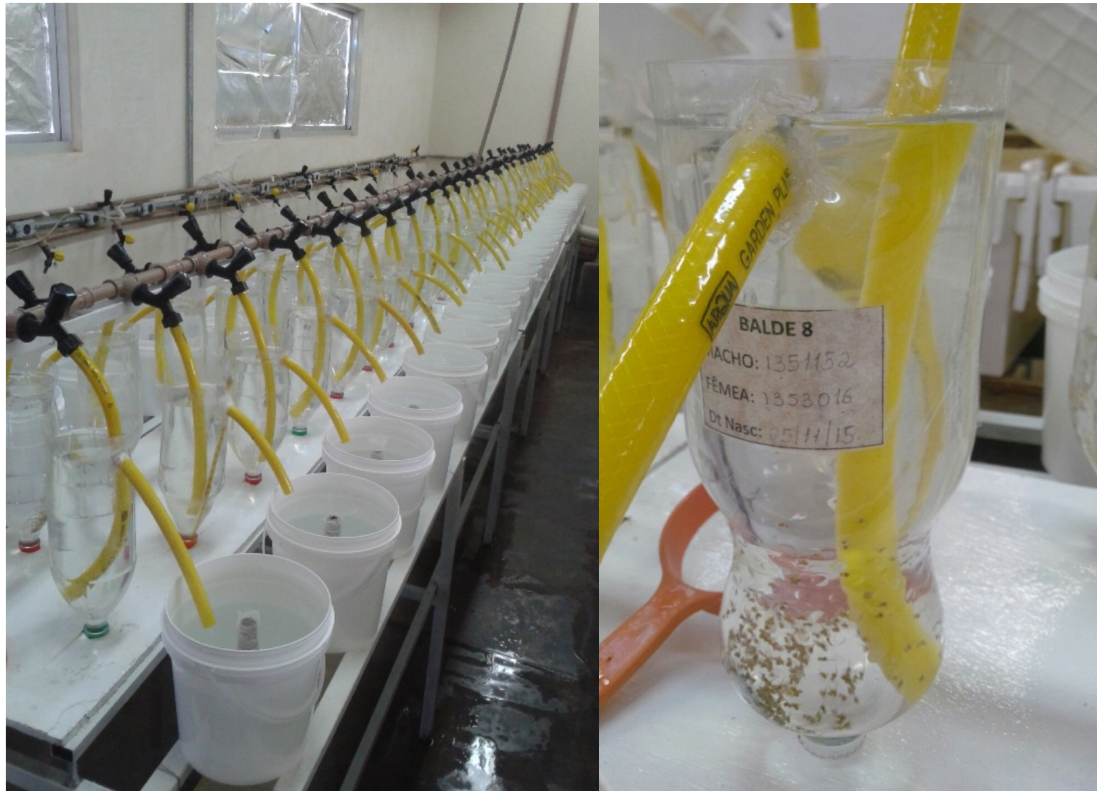
## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente experimento foi conduzido no setor de Aquicultura da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Campus JK, localizada em Diamantina, Minas Gerais. A pesquisa foi aprovada pela Comissão de Ética no Uso de Animais da UFVJM (CEUA), protocolada como nº 057/2015. O experimento ocorreu no período de novembro de 2015 a maio de 2016, que compreende desde o acasalamento para a formação das famílias até as avaliações referentes aos 150 dias de idade dos peixes.

Foram utilizadas 26 fêmeas e 20 machos de tilápias, que originaram as 26 famílias de irmãos completos. Todos os peixes foram identificados com *microchips* (*pit tags*). Cada macho foi alojado com 3 fêmeas em tanques de 1 m<sup>3</sup>, mantidos em sistema de recirculação de água, com trocador de calor ( $\pm 25^{\circ}\text{C}$ ), lâmpada ultra-violeta, filtros mecânico de areia e biológico, aeração constante e fotoperíodo natural. Ao final de uma semana, as fêmeas que possuíam ovos na boca foram separadas dos machos, sendo os ovos retirados da cavidade oral e transferidos para um incubatório cilíndrico (1,7 L), identificado pelos números dos progenitores, onde os ovos permaneciam em suspensão devido ao fluxo de água constante. As fêmeas que não possuíam ovos permaneciam com os machos, por mais sete dias, para nova tentativa de reprodução.

Os incubatórios eram conectados a aquários (3,4 L) aos quais as larvas eclodidas passavam ao começarem a nadar. O conjunto incubatório-aquário compunha um sistema de recirculação de água com temperatura controlada por aquecedores, onde era alojada uma família, de modo que nem os ovos e nem as larvas de diferentes famílias pudessem se misturar (FIG 1).

Figura 1 – Sistema de incubação



As

larvas foram transferidas para aquários de 70 L, em sistema de recirculação com aeração e temperatura mantida em torno de 27,5° a 28,5°C. As pós-larvas eram alimentadas com dieta triturada contendo 45% de proteína bruta (TAB. 1), 4 vezes ao dia, até se tornarem alevinos. Posteriormente, cada família foi transferida para um reservatório de 140 L também em sistema de recirculação ligado a um filtro mecânico, com temperatura ( $\pm 25$  °C) e oxigênio controlados. Nesse sistema os alevinos receberam dieta triturada (diâmetro de 2 a 3 mm) com 32% de proteína bruta (TAB 1), 4 vezes ao dia (8, 11, 14 e 16 h), até atingirem peso médio de 20 g.

Tabela 1 – Composição da dieta fornecida às larvas até a fase de alevinos com 20 g

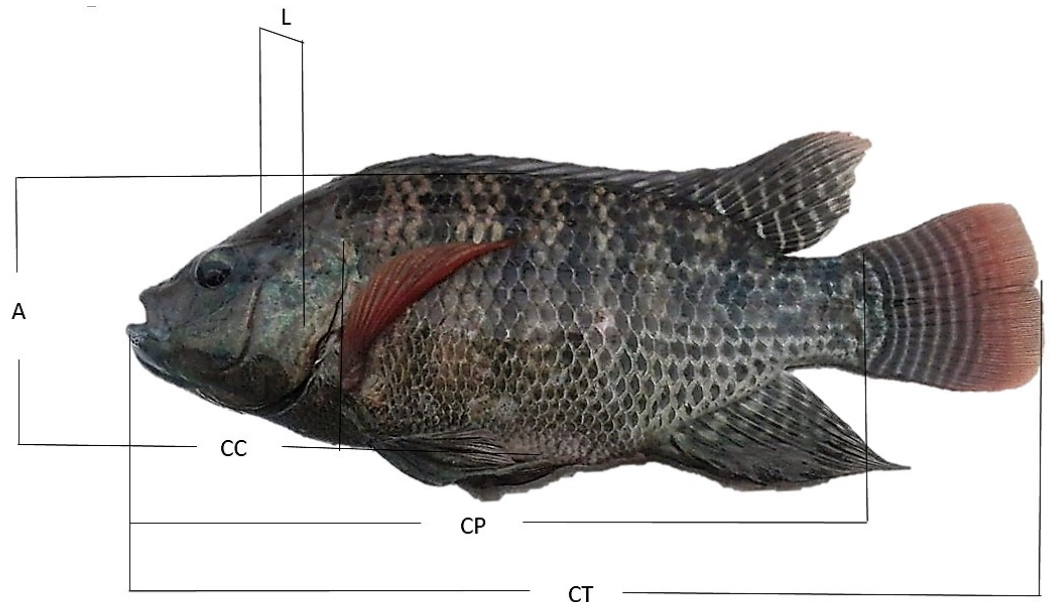
<b>Ingredientes</b>	<b>Níveis de garantia – 45% PB*</b>	<b>Níveis de garantia – 32% PB**</b>
Umidade (%)	10,0	10,0
Proteína bruta (%)	45,0	32,0
Extrato etéreo (%)	8,0	6,0
Matéria mineral (%)	15,0	13,0
Fibra bruta (%)	4,0	5,5
Cálcio (g/kg)	30,0	25,0
Fósforo (g/kg)	8,0	6,0
Vitamina C (mg/kg)	600,0	300,0

\* Nutripiscis AL 45 2,6mm

\*\* Nutripiscis TRV 32 4,0mm

Ao atingirem peso médio de 20 g, todos os peixes foram pesados em balança de precisão de 0,01g e identificados com inserção de um *microchip* na região ventral. Neste momento, foram obtidas as medidas morfométricas de cada peixe utilizando-se régua e paquímetro graduados até 500 mm e 150 mm, respectivamente. As medidas realizadas em cada peixe (FIG. 2), de acordo com Diodatti (2006), foram:

Figura 2 – Medidas morfométricas em tilápia do Nilo



A – Altura  
 CC – Comprimento da cabeça  
 CT – Comprimento total

L – Largura  
 CP – Comprimento padrão

Para iniciar o experimento, os peixes foram alocados em 35 reservatórios circulares de polietileno com volume de 1m<sup>3</sup>, que formariam os 5 tratamentos (níveis de lisina digestível) com 7 repetições em cada um deles (FIG. 3). A distribuição dos peixes foi feita aleatoriamente de modo que pelo menos um indivíduo de cada família estivesse presente nos 5 tratamentos, até formar um lote de 20 alevinos por tanque (repetição), totalizando 140 por tratamento e 700 peixes no experimento.

Figura 3 – Sistema de recirculação formado por tanques de 1m<sup>3</sup>

A estrutura onde se realizou o experimento era localizada dentro de uma estufa transparente com cortinas laterais, de modo que se pudesse manter a luminosidade e controlar a temperatura ambiente. Os tanques eram interligados formando um sistema de recirculação fechado, com filtro mecânico, filtro biológico e luz ultravioleta. O sistema funcionava com troca diária de 50% da água, oxigenação por aeração forçada e temperatura controlada por meio de um trocador de calor elétrico. Os parâmetros físico-químicos das águas dos tanques foram monitorados semanalmente e o oxigênio se manteve acima de 4 mg/l, a amônia abaixo de 0,5mg/l, o pH entre 7,0 e 7,5 e a temperatura, entre 26° C e 29° C. A parede do interior das caixas era limpa toda semana, com retirada de 50% da água, a fim de manter os parâmetros de qualidade.

Sete dias antes do início do ensaio, todos os peixes receberam dieta controle experimental, para a adaptação de ingestão e fisiológica. As cinco dietas experimentais do período de crescimento, foram formuladas com base nas exigências dos peixes com peso entre 20 a 100 g (NRC, 1993) e constam na Tabela 2.



Ingredientes (%)	Níveis de lisina digestível (%)				
	1,43	1,53	1,63	1,73	1,83
Farelo de soja 45%	46,69	46,69	46,69	46,69	46,69
Quirera de arroz	22,66	22,66	22,66	22,66	22,66
Milho moído	9,40	9,40	9,40	9,40	9,40
Glúten 60%	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Óleo de soja	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Calcário calcítico	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Fosfato bicálcico	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Sal comum	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Inerte (Caulim)	0,617	0,777	0,892	1,025	1,128
Suplemento vit e min <sup>(1)</sup>	0,5	0,50	0,50	0,50	0,50
Vitamina C	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
L-lisina HCl	0,052	0,181	0,310	0,439	0,568
D,L-metionina	0,306	0,362	0,426	0,487	0,548
L-treonina	0,265	0,500	0,542	0,649	0,756
L-ácido glutâmico	1,760	1,180	0,830	0,400	-
BHT	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Composição calculada <sup>(2)</sup>					
Matéria seca (g/kg)	84,58	84,92	85,23	85,54	85,83
Energia digestível (kcal/kg)	3190,0	3190,0	3190,0	3190,0	3190,0
Proteína bruta (g/kg)	31,42	31,42	31,42	31,42	31,42
Proteína digestível (g/kg)	29,09	29,09	29,09	29,09	29,09
Fibra bruta	3,15	3,15	3,15	3,15	3,15
Extrato etéreo	2,53	2,53	2,53	2,53	2,53
Fósforo total	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
Fósforo disponível	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68
Cálcio total	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93
Lisina total	1,53	1,63	1,73	1,83	1,93
Lisina digestível	1,43	1,53	1,63	1,73	1,83
Met + Cist total	1,26	1,31	1,37	1,44	1,50
Met + Cist digestível	0,87	0,92	0,98	1,04	1,10
Treonina total	1,45	1,56	1,67	1,78	1,89
Treonina digestível	1,10	1,18	1,25	1,33	1,41
Arginina total	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91
Arginina digestível	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66
Leucina total	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98
Leucina digestível	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95
Triptofano total	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
Triptofano digestível	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
Amido	30,08	30,08	30,08	30,08	30,08
Ácido linoleico	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27

Tabela 2 - Composição das dietas experimentais para fase de crescimento de tilápias do Nilo

(1) Composição por quilograma do produto: 1.200.000 UI de Vitamina A.; 200.000 UI de Vitamina D3; 1.200 mg de Vitamina E; 2.400 mg de Vitamina K3; 4.800 mg de Vitamina B1; 4.800 mg de Vitamina B2; 4.800 mg de Vitamina B6; 4.800 mg de Vitamina B12; 48 g de Vitamina C.; 1200 mg de ácido fólico (*folic acid*); 12.000 mg de pantotenato de Ca (*panthotenic acid*); 48 mg de biotina (*biotin*); 108 g de cloreto de colina (*cholin*); 24.000 mg de niacina (*niacin*); 50.000 mg de Fe; 3.000 mg de Cu; 20.000 mg de Mn; 30.000 mg de Zn; 100 mg de I; 10 mg de Co; 100 mg de Se.

As dietas foram fornecidas quatro vezes ao dia, às 8, 11, 14 e 17 horas, até a saciedade aparente dos peixes. Qualquer sobra de dieta sobrenadante era retirada com uma peneira ao final do manejo, em todos os horários do trato. A temperatura da água foi medida e registrada diariamente, às 8 e às 16 horas.

Ao final desta fase experimental, cada peixe de cada repetição foi pesado e obtidas todas as medidas morfométricas, descritas anteriormente.

A fim de manter a consistência do banco de dados, foram descartadas informações de peixes com sexo não identificado. Para efetuar as análises estatísticas e genéticas, os pesos e medidas morfométricas, de cada peixe, foram ajustados para 150 dias de idade, admitindo-se crescimento linear destas características. Os pesos iniciais foram ajustados para 90 dias de idade, a fim de calcular o ganho de peso diário e total aos 150 dias.

$y = Xb + Z_1u + Z_2f + e$ ; O modelo utilizado para a análise em notação matricial pode ser definido como:

em que  $y$  é o vetor com as observações,  $b$  é o vetor de efeitos fixos de sexo;  $u$  e  $f$  são vetores com coeficientes de regressão relativos aos efeitos genético aditivo direto e família, respectivamente;  $X$ ,  $Z_1$  e  $Z_2$  são matrizes de incidência nas observações dos efeitos nos vetores  $b$ ,  $u$  e  $f$ , respectivamente, contendo os polinômios de Legendre relativos a cada nível de Lisina, e  $e$  é o vetor dos resíduos.

Consideraram-se nas análises existências de classes de variância residual homogênea a heterogêneas, segundo diferentes níveis de lisina, sendo:

Classe 1: variância residual homogênea (1,43 a 1,83%);

Classe 2: variâncias heterogêneas em duas classes diferentes (1,43 a 1,53; 1,54 a 1,83%);

Classe 3: variâncias heterogêneas em três classes (1,43 a 1,53; 1,54 a 1,63; 1,64 a 1,83%);

Classe 4: variâncias heterogêneas em quatro classes (1,43 a 1,53; 1,54 a 1,63; 1,64 a 1,73; 1,74 a 1,83%).

As premissas dos modelos foram:

$$E(y) = Xb;$$

$$E(Z_1u) = E(Z_2f) = E(e) = 0;$$

$$G = \begin{bmatrix} \sigma_{b0}^2 & \sigma_{b0,b1} \\ \sigma_{b1,b0} & \sigma_{b1}^2 \end{bmatrix}; e$$

$$V(y) = Z_1(AG)Z_1' + Z_2(I_m F)Z_2' + I_n;$$

em que:  $\sigma_{b_0}^2$  e  $\sigma_{b_1}^2$  são componentes de variância atribuídos aos coeficientes de regressão aleatória intercepto ( $b_0$ ) e de regressão linear ( $b_1$ ) do efeito genético aditivo direto,  $\sigma_{b_0, b_1}$  é o componente de covariância entre os coeficientes de regressão aleatória ( $b_0$  e  $b_1$ ) do efeito genético aditivo direto,  $\sigma_{\epsilon_i}^2$  é o componente de variância residual  $i = 1, 2, 3$  e  $4$  (1- homogênea, 2, 3 e 4 –heterogênea com duas, três e quatro classes de variâncias residuais respectivamente),  $A$  é a matriz de numeradores do coeficiente de parentesco de Wright,  $G$  e  $F$  são matrizes (a ordem é em função da ordem do polinômio do modelo) que contêm componentes de covariância dos coeficientes de regressão aleatórios dos efeitos genéticos aditivos e família, respectivamente,  $I_n$  é a matriz identidade,  $m$  é o número de fêmeas com progênie e  $n$  é o número de observações. Os efeitos aleatórios foram modelados como funções de polinômios ortogonais de Legendre de 2ª ordem apenas.

Comparações entre os modelos para determinar o melhor modelo quanto ao ajuste da trajetória média fixa (linear ou quadrática) com diferentes classes de variância residual (homogênea ou heterogêneas) foram feitas pelo Critério de Informação Bayesiano (BIC), proposto por Schwarz (1978):

$$BIC = -2 \log L + p \log_e(N - r),$$

em que  $p$  refere-se ao número de parâmetros do modelo,  $N$  é o número total de observações,  $r$  é o posto da matriz de incidência para os efeitos fixos, e  $\log L$  é o logaritmo decimal da função de verossimilhança.

A probabilidade do modelo (BURNHAM; ANDERSON, 2004; NEATH; CAVANAUGH, 2012) foi calculada a partir do modelo com o melhor valor de BIC (aqueles com o menor valor de BIC).

Foi utilizada, para obter a covariância genética aditiva entre o nível de lisina digestível  $i$  e  $j$ , a seguinte fórmula:

$$\sigma_{a_{ij}} = Z_i G Z_j'$$

em que  $Z_i = [\Phi_0(i) \quad \Phi_1(i)]$  e  $Z_j = [\Phi_0(j) \quad \Phi_1(j)]$ , sendo  $\phi_0(i)$  e  $\phi_1(i)$  polinômios estimados ao nível de lisina  $i$  para os efeitos intercepto e linear, respectivamente.

A estimativa da herdabilidade direta foi realizada em função do nível de lisina da dieta, da seguinte maneira:

$$h_{d_i}^2 = \frac{Z_i' G Z_i}{Z_i' G Z_i + Z_i' F Z_i + \sigma_e^2},$$

em que  $i$  representa o nível de lisina da dieta,  $j$  refere-se à classe residual a qual o nível faz parte,  $d$  é a herdabilidade direta.

As estimativas de covariâncias foram obtidas por meio do programa WOMBAT (MEYER, 2006) que utiliza a Máxima Verossimilhança Restrita (REML).

A sensibilidade dos valores genéticos à variação do gradiente ambiental foi também avaliada por plotagem da norma de reação de 25 tilápias amostradas aleatoriamente para cada característica.

Foram estimadas as correlações de postos de Spearman, a partir dos valores genéticos preditos nas análises uni-características, para cada par dos níveis de lisina digestível nas dietas. As correlações de Spearman foram obtidas para 6, 12 e 18% dos animais com maior valor genético para entre os níveis alto, médio e baixo de lisina, usando o procedimento CORR (S.A.S. versão 9.0) para melhor avaliar as classificações dos peixes.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estatística descritiva dos dados para cada característica em relação aos níveis de lisina digestível das dietas consta na Tabela 4. As informações utilizadas nas análises referem-se a 4.021 pesos e características morfométricas avaliados em 700 tilápias da linhagem GIFT. As características analisadas foram altura, comprimento da cabeça, comprimento padrão, comprimento total, largura, peso, ganho de peso total (GP), ganho de peso diário (GPD), relação cabeça/comprimento padrão (C/CP), relação comprimento padrão/comprimento total (CP/CT) e relação largura/altura (L/A), ajustados para 150 dias de idade admitindo-se crescimento linear para todas as características sendo eliminadas todas as informações cujo sexo do peixe não foi identificado (TAB. 4).

Para todas as características, a distância entre os valores mínimo e máximo foi grande, o que pode ser explicado pela não adaptação dos peixes às condições experimentais (TAB. 4).

Tabela 4 – Estatística descritiva dos dados utilizados nas análises de tilápias da linhagem GIFT aos 150 dias de idade para características morfométricas e de desempenho

<b>Característica</b>	<b>N<sup>1</sup></b>	<b>MP<sup>2</sup></b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>DP<sup>3</sup></b>	<b>CV<sup>4</sup>(%)</b>
Altura (cm)	676	722	2,16	7,11	4,19	0,77	18,38
Cabeça (cm)	677	723	2,28	5,69	3,83	0,60	15,67
C. Padrão (cm)	663	709	7,20	17,62	12,24	1,67	13,64
C. Total (cm)	676	722	9,09	21,29	15,18	1,98	13,04
Largura (cm)	653	699	0,99	3,17	2,08	0,39	18,75
Peso (g)	676	722	12,85	192,42	79,86	30,81	38,58
GP (g)	675	721	0,46	160,06	62,74	28,07	44,74
GMD (g)	675	721	0,01	2,67	1,05	0,47	44,73
<b>C/CP<sup>4</sup></b>	662	708	0,22	0,42	0,31	0,04	12,90
<b>CP/CT<sup>5</sup></b>	661	707	0,50	0,93	0,81	0,02	2,47
<b>L/A<sup>6</sup></b>	651	697	0,3	0,75	0,50	0,07	14,00

<sup>1</sup>Número de observações; <sup>2</sup>Matriz de parentesco; <sup>3</sup>Desvio Padrão; <sup>4</sup>Relação cabeça-comprimento padrão; <sup>5</sup>Relação comprimento padrão-comprimento total; <sup>6</sup>Relação largura-altura.

Os valores das médias e coeficientes de variação referentes a todas as características em cada nível de lisina digestível estudado constam na Tabela 5. Observa-se que os coeficientes de variação para as características morfométricas, no geral, são baixos e médios variando de 1,58% (CP/CT no nível 1,43%) a 21, 57% (altura no nível 1,73%), corroborando os resultados de Fernandes (2014) que

encontraram coeficientes de variação para altura e largura de 19 e 21%, respectivamente, para tilápias da linhagem tailandesa aos 147 dias de idade. Já para as características de desempenho as médias e os desvios padrão variaram muito, portanto os coeficientes de variação encontrados são considerados muito altos variando de 31,82% (peso no nível 1,73%) a 58,31% (GP no nível 1,43%) e indicando alta heterogeneidade dos dados para estas características. Em outros estudos realizados com linhagem GIFT de tilápias também foram encontrados coeficientes de variação muito altos para peso vivo, próximos aos obtidos neste trabalho, variando de 32 a 50% (BENTSEN *et al.*, 2012; KHAW *et al.*, 2012; SANTOS, 2009).

Tabela 5 – Médias e coeficientes de variação (CV em porcentagem) das características morfométricas e de desempenho de tilápias da linhagem GIFT aos 150 dias de idade nos diferentes níveis de lisina

Característica	Níveis de Lisina (%)									
	1,43		1,53		1,63		1,73		1,83	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
Altura	4,09	18,68	4,23	15,55	4,02	17,37	4,03	21,57	4,64	15,58
Cabeça	3,84	14,40	3,95	13,34	3,63	16,65	3,71	18,40	4,01	13,63
C Padrão	11,81	15,93	12,01	13,74	12,26	13,06	12,61	11,49	12,54	13,23
C Total	14,66	15,48	14,89	12,89	15,28	12,39	15,58	11,02	15,57	12,48
Largura	2,06	21,36	2,12	17,15	2,02	19,05	2,13	18,17	2,06	16,77
Peso	71,35	48,30	82,14	37,46	77,31	36,82	82,84	31,82	85,64	37,81
GP	54,43	58,74	64,89	43,27	60,27	43,65	65,75	35,55	66,42	41,77
GMD	0,91	58,70	1,08	43,29	1,00	43,63	1,10	35,57	1,14	41,77
C/CP	0,33	8,00	0,33	6,40	0,29	13,03	0,29	14,77	0,32	8,86
CP/CT	0,81	1,58	0,81	2,78	0,80	3,94	0,81	2,91	0,80	2,49
L/A	0,50	13,37	0,50	14,10	0,49	13,41	0,50	13,60	0,50	13,15

Os modelos de regressão aleatória que melhor se ajustaram às observações foram aqueles que consideraram duas e três classes de heterogeneidade de variância residual, respectivamente, para a maioria das características; enquanto modelos de uma classe (homogeneidade de variância) de variância residual e 4 classes foram os que menos se adequaram aos dados (TAB 6).

Tabela 6 – Avaliação de modelos com diferentes classes de variância residual pelo critério de informação bayesiano (BIC) e pela probabilidade do modelo para características de desempenho e morfométricas de tilápias GIFT, aos 150 dias de idade, em diferentes níveis de lisina digestível

Característica	Trajetória Média	Nº de classes de variância residual	Nº Observações	Nº de parâmetros	Log L <sup>2</sup>	BIC <sup>2</sup>	Probabilidade
Altura	Linear	1 classe	676	7	-127,515	274,84	55942,52
		2 classes	676	8	-127,498	277,636	226398,80
		3 classes	676	9	-124,696	274,862	56558,27
		4 classes	676	10	-121,875	272,049	13863,30
	Quadrática	1 classe	676	7	-118,326	256,462	5,72
		2 classes	676	8	-118,325	259,29	23,50
		3 classes	676	9	-114,633	254,736	2,41
		<b>4 classes</b>	<b>676</b>	<b>10</b>	<b>-112,338</b>	<b>252,975</b>	<b>1,00</b>
Cabeça	Linear	1 classe	677	7	37,661	-55,508	11008,37
		2 classes	677	8	38,361	-54,077	22509,79
		3 classes	677	9	41,154	-56,833	5675,99
		4 classes	677	10	41,246	-54,186	21317,73
	Quadrática	1 classe	677	7	44,466	-69,118	12,20
		2 classes	677	8	45,032	-67,419	28,52
		<b>3 classes</b>	<b>677</b>	<b>9</b>	<b>49,798</b>	<b>-74,121</b>	<b>1,00</b>
		4 classes	677	10	49,915	-71,524	3,66
Comprimento Padrão	Linear	1 classe	663	7	-582,59	1184,93	3,19
		<b>2 classes</b>	<b>663</b>	<b>8</b>	<b>-580,02</b>	<b>1182,61</b>	<b>1,00</b>
		3 classes	663	9	-580,009	1185,41	4,05
		4 classes	663	10	-579,933	1188,08	15,40
	Quadrática	1 classe	663	7	-584,57	1188,89	23,09
		2 classes	663	8	-582,052	1186,68	7,63
		3 classes	663	9	-582,042	1189,48	30,96
		4 classes	663	10	-581,979	1192,17	119,17
Comprimento Total	Linear	1 classe	676	7	-707,07	1433,95	6,91
		<b>2 classes</b>	<b>676</b>	<b>8</b>	<b>-703,722</b>	<b>1430,08</b>	<b>1,00</b>
		3 classes	676	9	-703,722	1432,91	4,12
		4 classes	676	10	-703,44	1435,18	12,78
	Quadrática	1 classe	676	7	-709,113	1438,04	53,31
		2 classes	676	8	-705,801	1434,24	8,00
		3 classes	676	9	-705,801	1437,07	32,92
		4 classes	676	10	-705,526	1439,35	102,92
Largura	Linear	1 classe	653	7	339,186	-658,67	562,89
		2 classes	653	8	341,971	-661,42	141,96
		<b>3 classes</b>	<b>653</b>	<b>9</b>	<b>348,334</b>	<b>-671,33</b>	<b>1,00</b>
		4 classes	653	10	348,343	-668,54	4,05
	Quadrática	1 classe	653	7	334,925	-650,15	39898,21
		2 classes	653	8	337,697	-652,87	10193,89
		3 classes	653	9	343,961	-662,59	79,28
		4 classes	653	10	343,973	-659,8	320,04
Peso	Linear	1 classe	676	7	-2570,603	5161,02	6,33

		2 classes	676	8	-2568,944	5160,53	4,96	
		3 classes	676	9	-2568,82	5163,11	18,03	
		4 classes	676	10	-2568,551	5165,4	56,71	
	Quadrática	1 classe	676	7	-2569,176	5158,16	1,52	
		<b>2 classes</b>	<b>676</b>	<b>8</b>	<b>-2567,343</b>	<b>5157,33</b>	<b>1,00</b>	
		3 classes	676	9	-2567,263	5160,00	3,80	
		4 classes	676	10	-2566,933	5162,17	11,25	
GPD <sup>3</sup>	Linear	1 classe	675	7	249,389	-478,973	1,93	
		<b>2 classes</b>	<b>675</b>	<b>8</b>	<b>251,461</b>	<b>-480,288</b>	<b>1,00</b>	
		3 classes	675	9	251,687	-477,910	3,28	
		4 classes	675	10	251,69	-475,087	13,47	
	Quadrática	1 classe	675	7	246,65	-473,495	29,85	
		2 classes	675	8	248,916	-475,198	12,74	
		3 classes	675	9	249,081	-472,698	44,46	
		4 classes	675	10	249,092	-469,891	180,96	
	GP <sup>4</sup>	Linear	1 classe	675	7	-2498,056	5015,917	9,57
			2 classes	675	8	-2495,951	5014,536	4,80
			3 classes	675	9	-2495,715	5016,894	15,59
			4 classes	675	10	-2495,712	5019,717	63,96
Quadrática		1 classe	675	7	-2496,693	5013,191	2,45	
		<b>2 classes</b>	<b>675</b>	<b>8</b>	<b>-2494,383</b>	<b>5011,400</b>	<b>1,00</b>	
		3 classes	675	9	-2494,218	5013,900	3,49	
		4 classes	675	10	-2494,208	5016,709	14,22	
C/CP <sup>5</sup>		Linear	1 classe	662	7	1857,815	-3695,9	3,58E+26
			2 classes	662	8	1862,123	-3701,7	1,98E+25
			3 classes	662	9	1881,278	-3737,2	3,88E+17
			4 classes	662	10	1880,683	-3733,2	2,89E+18
	Quadrática	1 classe	662	7	1891,876	-3764	5,78E+11	
		2 classes	662	8	1891,623	-3760,7	3,05E+12	
		<b>3 classes</b>	<b>662</b>	<b>9</b>	<b>1921,779</b>	<b>-3818,2</b>	<b>1,00</b>	
		4 classes	662	10	1920,15	-3812,1	20,89	
	CP/CT <sup>6</sup>	Linear	1 classe	661	7	2085,789	-4151,8	3,03E+19
			2 classes	661	8	2112,537	-4202,5	299851689
			3 classes	661	9	2114,548	-4203,7	164414176,8
			<b>4 classes</b>	<b>661</b>	<b>10</b>	<b>2134,876</b>	<b>-4241,5</b>	<b>1,00</b>
Quadrática		1 classe	661	7	2079,638	-4139,5	1,42E+22	
		2 classes	661	8	2106,211	-4189,9	1,68E+11	
		3 classes	661	9	2108,078	-4190,8	1,06E+11	
		4 classes	661	10	2129,227	-4230,3	284,01	
L/A <sup>7</sup>		Linear	<b>1 classe</b>	<b>651</b>	<b>7</b>	<b>1390,044</b>	<b>-2760,4</b>	<b>1,00</b>
			2 classes	651	8	1389,673	-2756,8	5,92
			3 classes	651	9	1389,856	-2754,4	20,12
			4 classes	651	10	1389,966	-2751,8	73,58
	Quadrática	1 classe	651	7	1384,114	-2748,5	376,16	
		2 classes	651	8	1383,747	-2745	2216,74	
		3 classes	651	9	1383,947	-2742,6	7409,97	
		4 classes	651	10	1384,056	-2740	27129,35	

<sup>1</sup>Log L: Logaritmo decimal da função de máxima verossimilhança; <sup>2</sup>BIC: critério de informação Bayesiano; <sup>3</sup>Ganho de peso diário; <sup>4</sup>Ganho de peso; <sup>5</sup>Relação cabeça-comprimento padrão; <sup>6</sup>Relação comprimento padrão-comprimento total; <sup>7</sup>Relação largura-altura.



As características morfométricas e de desempenho se distribuíram entre duas trajetórias médias de crescimento, a trajetória linear para a maioria das características morfométricas e a quadrática para as demais características (TAB. 6).

O modelo que melhor se ajusta às observações pelo BIC é aquele que possui o menor valor de BIC, pois este critério penaliza modelos muito parametrizados e favorece modelos mais parcimoniosos (BREDA *et al.*, 2006), o que pode justificar o fato de modelos com 4 classes de variância residual (10 parâmetros) serem aqueles que menos se ajustaram às observações (TAB. 6). A probabilidade do modelo, calculada a partir do melhor BIC (menor BIC), indica o quanto o modelo escolhido é mais provável que os demais modelos avaliados.

Na Tabela 7 constam as estimativas de (co)variâncias, as correlações entre o intercepto e o coeficiente de regressão linear, e as variâncias residuais, avaliadas para o efeito genético aditivo (animal) e para o efeito de família.

Observa-se para todas as características que a estimativa da variância da constante de regressão, que representa o intercepto ( $b_0$ ), foi maior do que a da variância do coeficiente de regressão aleatória linear ( $b_1$ ), tanto para o efeito genético aditivo quanto para o efeito de família (TAB. 7). As correlações ( $r_{b_0b_1}$ ) entre a constante e o coeficiente de regressão para o efeito genético aditivo foram negativas para as características altura, cabeça, largura, ganho médio de peso e relação largura/altura e positivas para as demais características. Já para o efeito de família, as correlações foram negativas para comprimento padrão, comprimento total, largura, peso, ganho de peso, sendo a altura a única característica que apresentou correlação negativa para ambos os efeitos (TAB. 7).

As correlações negativas indicam que à medida que o valor do intercepto aumenta ( $b_0$ ), o valor do coeficiente de regressão ( $b_1$ ) diminui, isto indica um reordenamento mais intenso dos valores genéticos nos diferentes níveis de lisina (SU *et al.*, 2006). Correlações nulas, ou muito próximas de zero, representam a não alteração na resposta indireta, no caso  $b_1$ , como ocorre na característica cabeça para o efeito de família (TAB. 7). Correlações positivas implicam no aumento em ambas as variáveis correlacionadas,  $b_0$  e  $b_1$ . Isto indica que quanto maior o valor do intercepto, mais positiva será a inclinação na reta que descreve a sensibilidade dos peixes à mudança de ambiente (FELIPE *et al.*, 2012).

Tabela 7 - Variâncias atribuídas à constante de regressão – intercepto ( $b_0$ ) e ao coeficiente de regressão linear ( $b_1$ ) do efeito genético aditivo direto, covariância ( $b_0b_1$ ) e correlação ( $r_{b_1b_0}$ ) entre o intercepto e o coeficiente linear, e variância residual ( $\sigma_c^2$ ), estimadas para características morfométricas e de desempenho de tilápias da linhagem GIFT

Característica	Trajetória	Efeito Genético Aditivo			
		$b_0$	$b_0b_1$	$b_1$	$r_{b_1b_0}$
Altura	Quadrática	0,226065	-0,033713	0,006567	-0,875000
Cabeça	Quadrática	0,148176	-0,012359	0,002518	-0,639900
Comp. Padrão	Linear	1,880380	0,037222	0,007203	0,319800
Comp. Total	Linear	2,666960	0,051034	0,010970	0,298400
Largura	Linear	0,070832	-0,013669	0,004384	-0,775600
Peso	Quadrática	504,5590	61,552800	21,679600	0,588500
GMD <sup>1</sup>	Linear	0,142798	-0,0025659	0,0077077	-0,0773
GP <sup>2</sup>	Quadrática	485,618	9,62013	10,4378	0,1351
C/CP <sup>3</sup>	Quadrática	0,001028	0,000262	0,000502	0,363900
CP/CT <sup>4</sup>	Linear	0,000624	0,000118	0,000259	0,293500
L/A <sup>5</sup>	Linear	0,003087	-0,000115	0,001041	-0,064000

Característica	Trajetória	Efeito de Família			
		$b_0$	$b_0b_1$	$b_1$	$r_{b_1b_0}$
Altura	Quadrática	0,001225	-0,000130	0,000115	-0,346600
Cabeça	Quadrática	0,002372	0,000000	0,000100	0,000000
Comp. Padrão	Linear	0,254542	-0,071805	0,020922	-0,983900
Comp. Total	Linear	0,330819	-0,099279	0,030526	-0,987900
Largura	Linear	0,005581	-0,000847	0,000231	-0,746100
Peso	Quadrática	116,029000	-41,310400	15,002000	-0,990200
GMD	Linear	0,0210894	0,00041049	0,0003944	0,1423
GP	Quadrática	87,8798	-8,96128	7,99366	-0,3381
C/CP	Quadrática	0,000189	0,000068	0,000153	0,399500
CP/CT	Linear	0,000174	0,000020	0,000111	0,142000
L/A	Linear	0,000180	0,000003	0,000101	0,022800

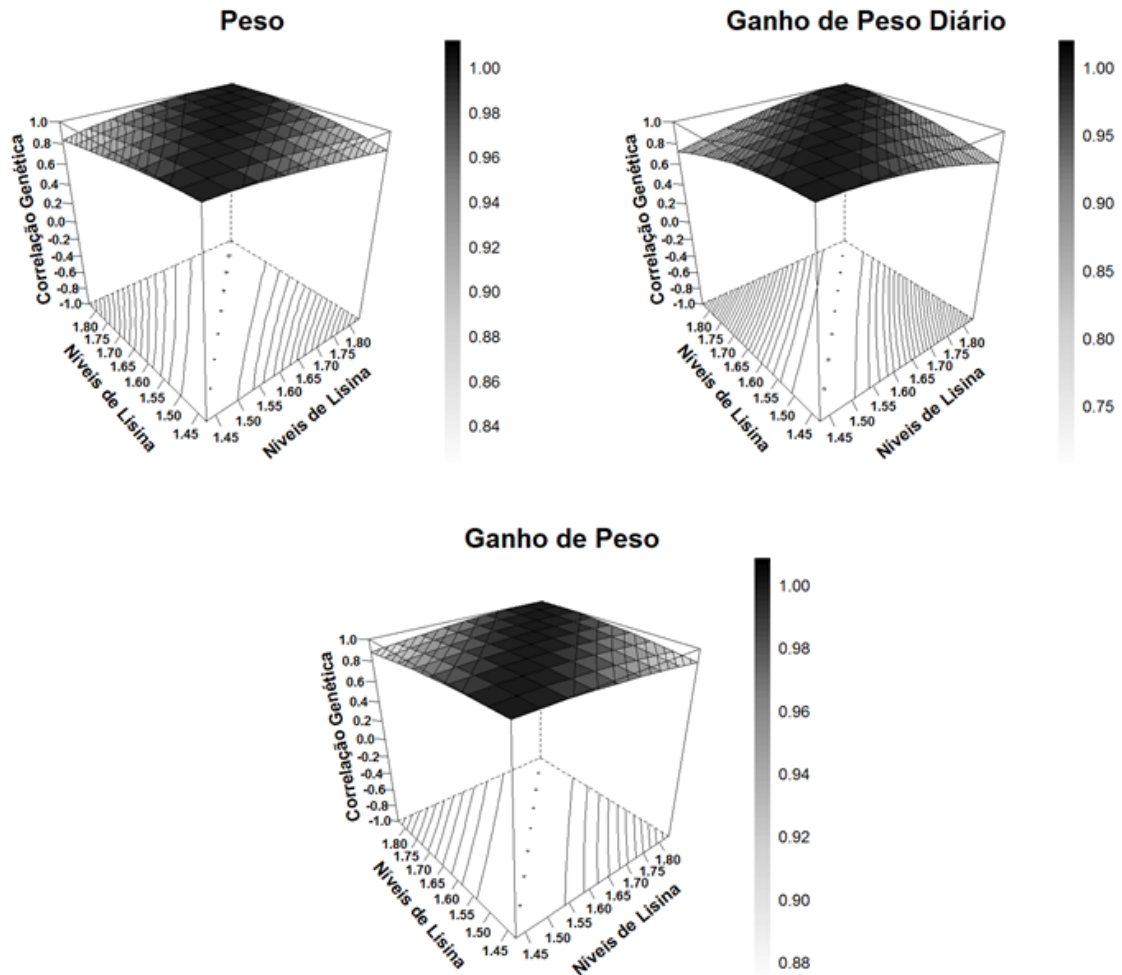
Característica	Trajetória	Variância Residual			
		1 Classe	2 Classes	3 Classes	4 Classes
Altura	Quadrática	0,382897	0,289279	0,371269	0,537794
Cabeça	Quadrática	0,203197	0,175880	0,303491	-
Comp. Padrão	Linear	2,245450	1,285420	-	-
Comp. Total	Linear	3,285870	1,762850	-	-
Largura	Linear	0,130381	0,048931	0,108043	-
Peso	Quadrática	827,4050	494,5160	-	-
GMD	Linear	0,179576	0,10443	-	-
GP	Quadrática	683,266	383,144	-	-
C/CP	Quadrática	0,000160	0,000116	0,001066	-
CP/CT	Linear	0,000054	0,000265	0,000859	0,000175
L/A	Linear	0,003407	-	-	-

<sup>1</sup>Ganho de peso diário; <sup>2</sup>Ganho de peso; <sup>3</sup>Relação cabeça-comprimento padrão; <sup>4</sup>Relação comprimento padrão-comprimento total; <sup>5</sup>Relação altura-largura.

Os modelos com heterogeneidade de variâncias e duas classes de variância residual apresentaram melhor ajuste para a maioria das características avaliadas. Os componentes de variância residual apresentaram grande modificação com a mudança de classes na maioria das características, apontando que realmente a divisão da variância em classes pode melhorar a partição da variação, em decorrência dos efeitos aleatórios incluídos no modelo de análise (FELIPE *et al.*, 2012). Por outro lado, a heterocedasticidade de variância residual pode dificultar a utilização de modelos de regressão aleatória em avaliações genéticas com grande volume de dados, por aumentar o número de parâmetros a serem estimados. (SARMENTO; TORRES; LÔBO, 2010) (TAB. 7).

As correlações genéticas entre os níveis de lisina para as características de desempenho e morfométricas aos 150 dias de idade são apresentadas nas Figuras 4 e 5. A maioria das estimativas foram altas e positivas. Observa-se que para as variáveis relacionadas a desempenho, apenas o GPD (FIG. 4) apresentou correlação abaixo de 0,8, o que indica a ocorrência de interação genótipo x ambiente (IGA) (ROBERTSON, 1959), podendo haver um reordenamento dos animais nos diferentes ambientes. Já as estimativas de correlação genética das características Peso e GP não apresentaram grandes alterações, estando acima de 0,8, ou seja, a seleção para ambas as características pode ser realizada em qualquer um dos níveis de lisina (YOSHIDA *et al.*, 2013), visto que os genótipos se expressam de forma semelhante em todo o gradiente ambiental. Comparando-se as correlações genéticas para as três características relacionadas ao peso, nota-se que as menores estimativas tendem a ser mais baixas nas combinações entre os níveis de lisina digestível mais distantes (1,43 e 1,83%) (FIG. 4).

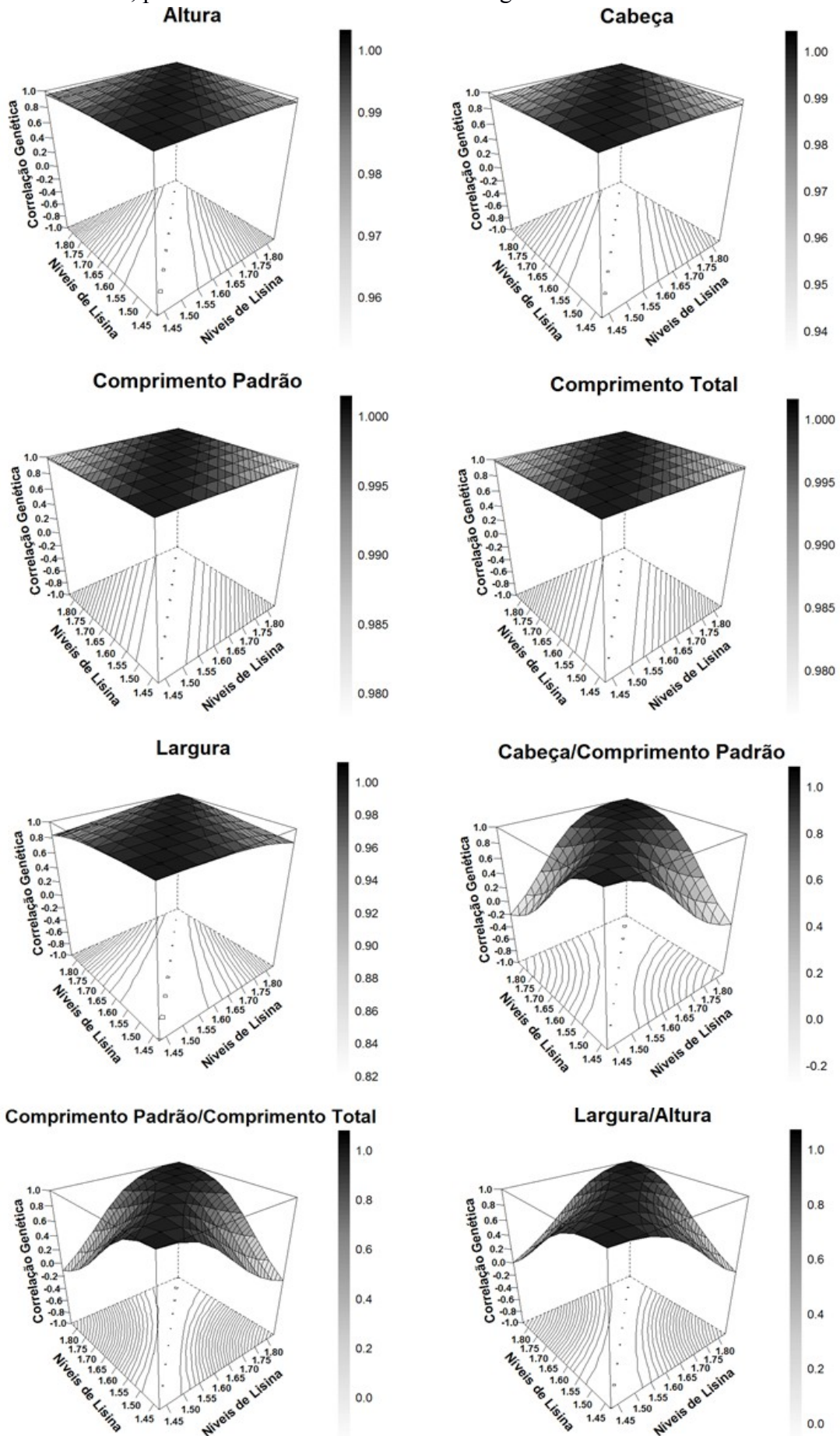
Figura 4 - Correlações genéticas para características de desempenho de tilápias da linhagem GIFT, para os diferentes níveis de lisina digestível lisina digestível

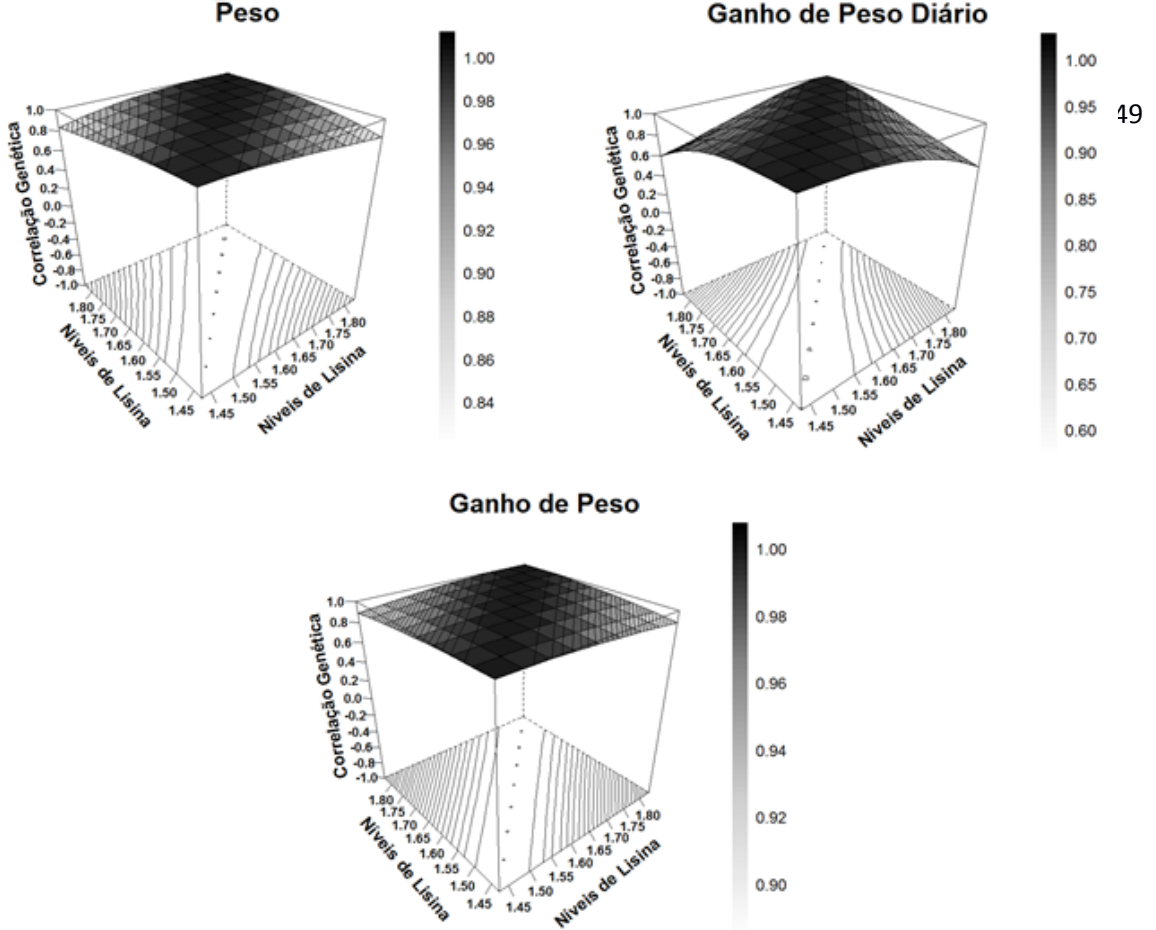


Ao se compararem as correlações genéticas entre as medidas morfométricas (FIG. 5), percebe-se que a maioria das estimativas se encontra acima de 0,8 e próximas de 1, o que sugere que os genes responsáveis por expressar a característica atuam de forma semelhante nos diferentes gradientes ambientais, tornando a IGA, na prática, irrelevante (ROBERTSON, 1959). Por outro lado, as correlações genéticas foram bastante baixas para as relações C/CP (-0,2), CP/CT (-1,0) e L/A (0,0). Isso mostra que pode haver reordenamento dos valores genéticos destas características em função do gradiente ambiental ou dos níveis de lisina da dieta. Infere-se, nesta situação, que peixes com maior valor genético predito em determinado nível de lisina digestível da dieta apresentarão valor distinto e inverso em outro nível de lisina digestível da dieta. Quando a IGE é bastante significativa, deve-se proceder a

seleção no ambiente (nível de lisina) em que os genes serão capazes de maximizar sua expressão.

Figura 5 – Correlações genéticas para características morfométricas de tilápias da linhagem GIFT, para os diferentes níveis de lisina digestível





As estimativas de herdabilidade, variância do efeito genético aditivo direto (variância animal) e variância do efeito de família para as características de peso e morfométricas nos diferentes níveis de lisina digestível apresentaram alterações ao longo do gradiente ambiental (FIG. 6 e 7).

As estimativas de herdabilidade para peso, GPD e GP variaram de baixa a alta, ou seja, variaram de 0,15 (peso no nível 1,43%) a 0,58 (GPD no nível 1,43%) (FIG. 6). Valor distinto (0,24), porém, dentro da amplitude das estimativas de herdabilidade para Peso encontradas neste trabalho (0,15 a 0,44), foi observado por Rutten, Komen e Bovenhuis (2005), ao avaliarem tilápias do Nilo aos 151 dias de idade. Por outro lado, Turra *et al.* (2016) obtiveram valor elevado de herdabilidade para peso aos 168 dias (0,62), ao avaliarem tilápias em sistema de recirculação de água.

A herdabilidade é dada pela relação entre a variância genética aditiva e variância fenotípica, de forma que à medida que essa relação se eleva no gradiente ambiental, aumentam-se as estimativas de herdabilidade e vice-versa.

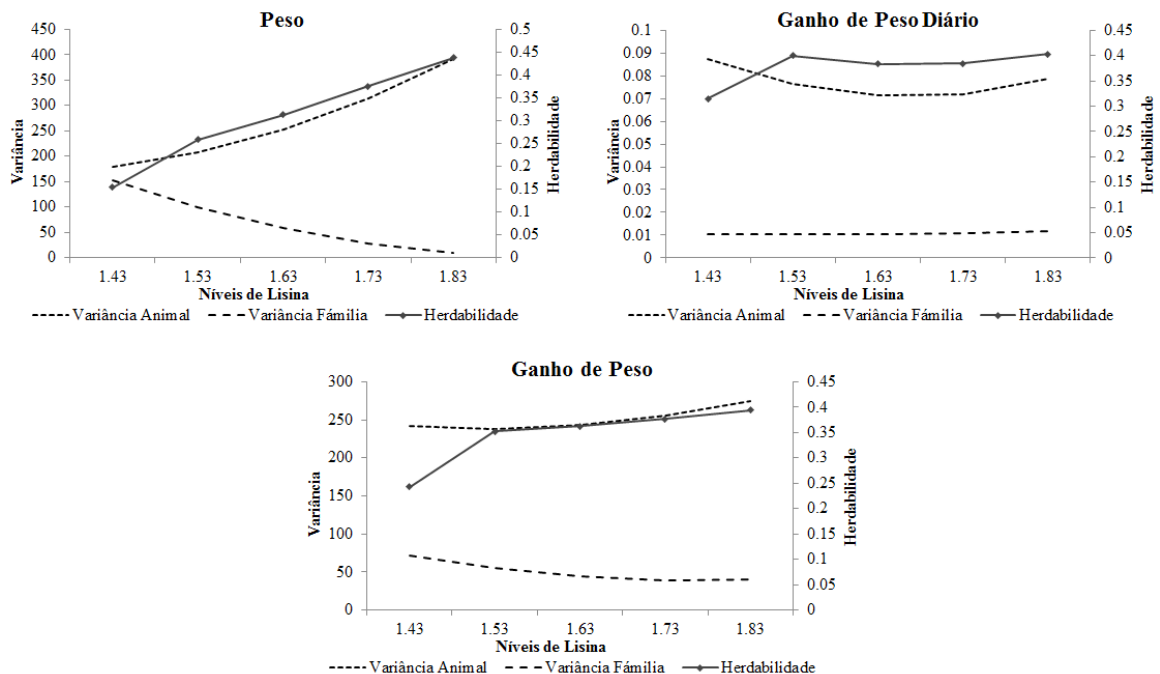
Para o GPD a curva das estimativas de herdabilidade teve comportamento crescente até o segundo nível (1,53%) e depois manteve-se com pouca variação ao longo do gradiente ambiental. Já para as estimativas de Peso e Ganho de Peso a curva foi ascendente durante todo o eixo dos níveis de lisina, sendo as maiores estimativas de herdabilidade, para ambas as características, observadas no nível mais alto (1,83%),

ou seja, 0,44 e 0,38, respectivamente (FIG. 6). Maiores estimativas de herdabilidade indicam que a maior parte da variação fenotípica na população estudada está relacionada aos efeitos genéticos aditivos permitindo obter considerável ganho genético por meio da seleção (MOTA, *et al.*, 2015).

Observa-se que a trajetória da curva das estimativas de herdabilidade foi semelhante à da variância do efeito genético aditivo, porém oposto à da variância do efeito de família. Para GMD a variância atribuída ao efeito de família foi mínima (0,010 a 0,012) em todo o gradiente ambiental, indicando pouquíssima influência deste efeito sobre a resposta fenotípica dos indivíduos. Já para peso e GP essas estimativas foram mais elevadas no nível 1,43% (152,07 e 71,45) de lisina digestível, decrescendo gradativamente até os níveis 1,83% e 1,73% de lisina, para peso e GP, respectivamente (FIG. 6). Rutten, Komen e Bovenhuis (2005) observaram valor moderadamente superior (199,0) para o efeito de variância de família sobre o peso de tilápias do Nilo aos 151 dias de idade aproximadamente.

Os resultados para Peso, GPD e GP sugerem que a utilização de níveis mais altos de lisina digestível nas dietas seria mais vantajosa para fins de seleção, visto que foram maiores as estimativas de herdabilidade (FIG. 6).

Figura 6 – Estimativas de herdabilidade, variância genética aditiva e variância de família para as características de desempenho de tilápias da linhagem GIFT, segundo os níveis de lisina digestível da dieta



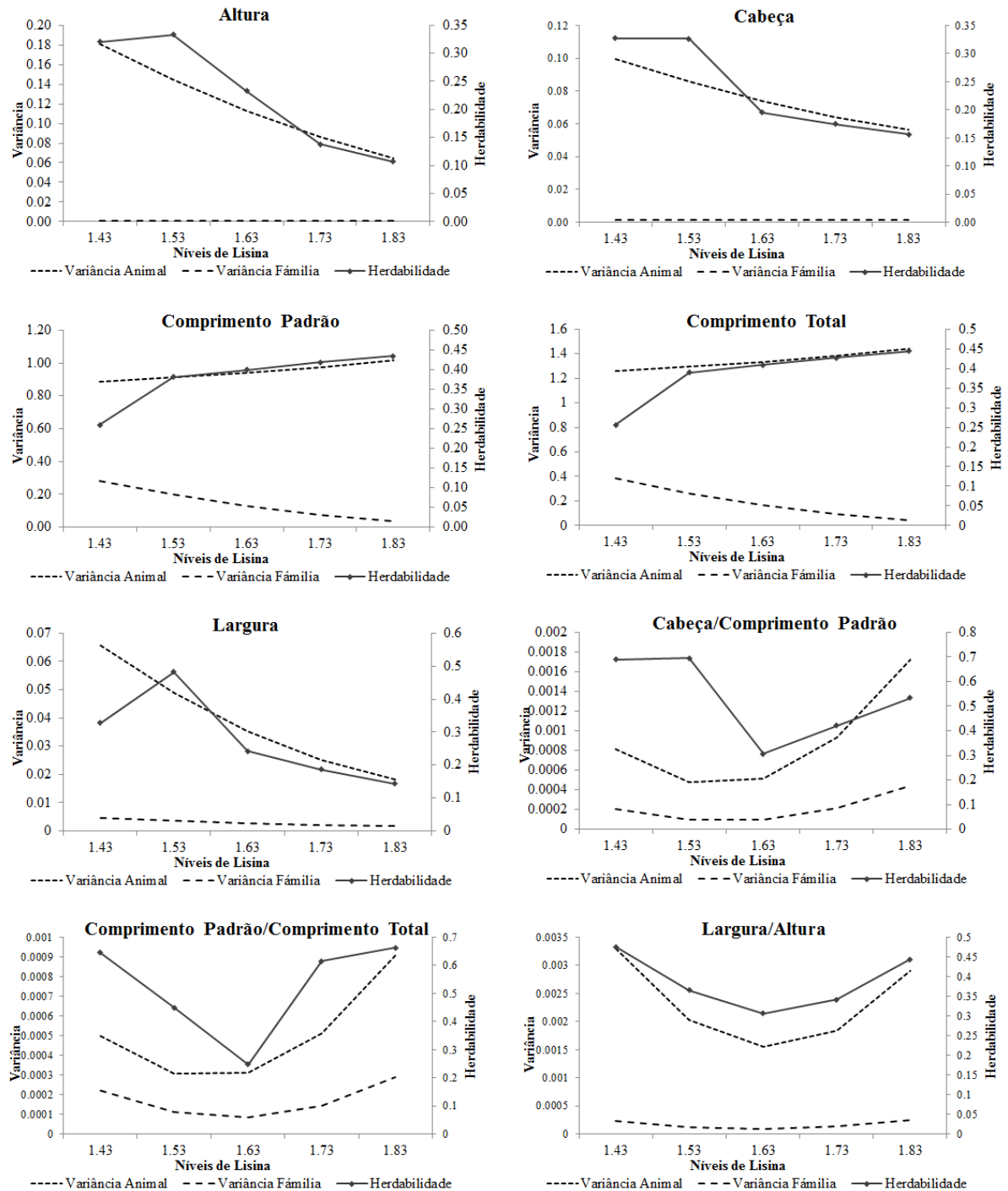


As estimativas de herdabilidade das características morfométricas variaram de baixas e moderadas a altas, sendo a menor correspondente a 0,11 (Altura em 1,83%) e a maior de 0,70 (C/CP em 1,53%) (FIG. 7). As estimativas de herdabilidade da altura, cabeça e largura foram de maior magnitude nos dois mais baixos níveis de lisina, 1,53, 1,43 e 1,53% respectivamente, decrescendo até o nível de 1,83%. De modo semelhante, a variância do efeito genético aditivo direto apresentou-se maior no nível de 1,43% de lisina digestível para Altura, Cabeça e Largura, decrescendo à medida que o nível do aminoácido se elevou. Maiores valores de variância atribuída ao efeito genético aditivo direto apontam maior contribuição gênica na expressão dos fenótipos das tilápias.

Já as herdabilidades de Comprimento Padrão e Comprimento Total apresentaram comportamentos inversos, porém semelhantes entre si, assim as estimativas mais baixas (0,26 e 0,26) ocorreram no nível 1,43% e as mais altas (0,43 e 0,44) em 1,83% de lisina digestível. A variância atribuída ao efeito genético aditivo atuou de forma similar para ambas as características, aumentando de acordo com a adição de lisina digestível nas dietas (FIG. 7).

O aumento da variância genética aditiva ao longo do gradiente ambiental indica que, exposto às condições ambientais melhoradas, haverá maior resposta à seleção como resultado do aumento da expressão do potencial genético dos indivíduos (MOTA *et al.*, 2015).

Figura 7 - Estimativas de herdabilidade, variância genética aditiva e variância de família para as características morfométricas de tilápias da linhagem GIFT, segundo os níveis de lisina digestível da dieta



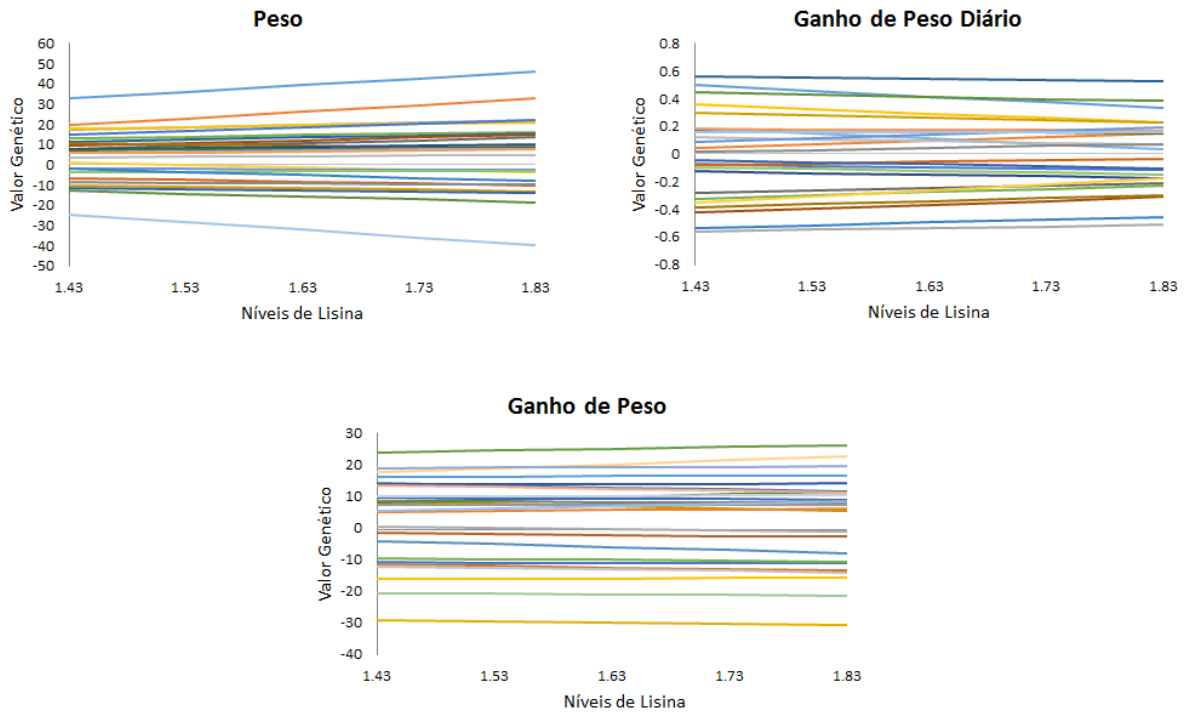
As relações cabeça/comprimento padrão, comprimento padrão/comprimento total e largura/altura exibiram declínio e posterior aumento nas estimativas de herdabilidade ao longo do gradiente ambiental, apresentando menor magnitude no nível intermediário (1,63%) de lisina digestível estudado (FIG. 7).

Para todas as características morfométricas as estimativas de variância atribuídas ao efeito de família foram muito pequenas, quase nulas em todos os níveis de lisina estudados, exceto para comprimento padrão e comprimento total que apresentaram valores razoavelmente maiores que zero (0,28 e 0,38) no nível aminoacídico mais baixo (1,43%) (FIG. 7).

O estudo das diferenças na sensibilidade dos valores genéticos para as características de desempenho de tilápias do Nilo linhagem GIFT aos 150 dias de idade foi realizado utilizando normas de reação e está apresentado nas Figuras 8 e 9. A inclinação das retas indica alterações na sensibilidade dos valores genéticos em função da mudança do gradiente nutricional.

A característica Peso apresentou aumento na dispersão dos valores genéticos e discreta mudança de posicionamento dos indivíduos segundo o aumento do nível de lisina (FIG. 8). Para GP observa-se alteração na ordem dos indivíduos com relação aos valores genéticos e pouca modificação na dispersão dos valores, que permanecem na mesma amplitude do menor ao maior nível aminoacídico. As normas de reação de GPD apresentaram reordenamento dos indivíduos pelo valor genético com a mudança no gradiente ambiental, o que já era esperado, uma vez que foram encontrados valores de correlação genética entre os níveis de lisina próximos a 0,7 (FIG. 4). Segundo Robertson (1959), a interação genótipo ambiente é significativa e biologicamente importante quando as correlações genéticas estão abaixo de 0,8, promovendo mudança na ordem dos indivíduos no gradiente ambiental.

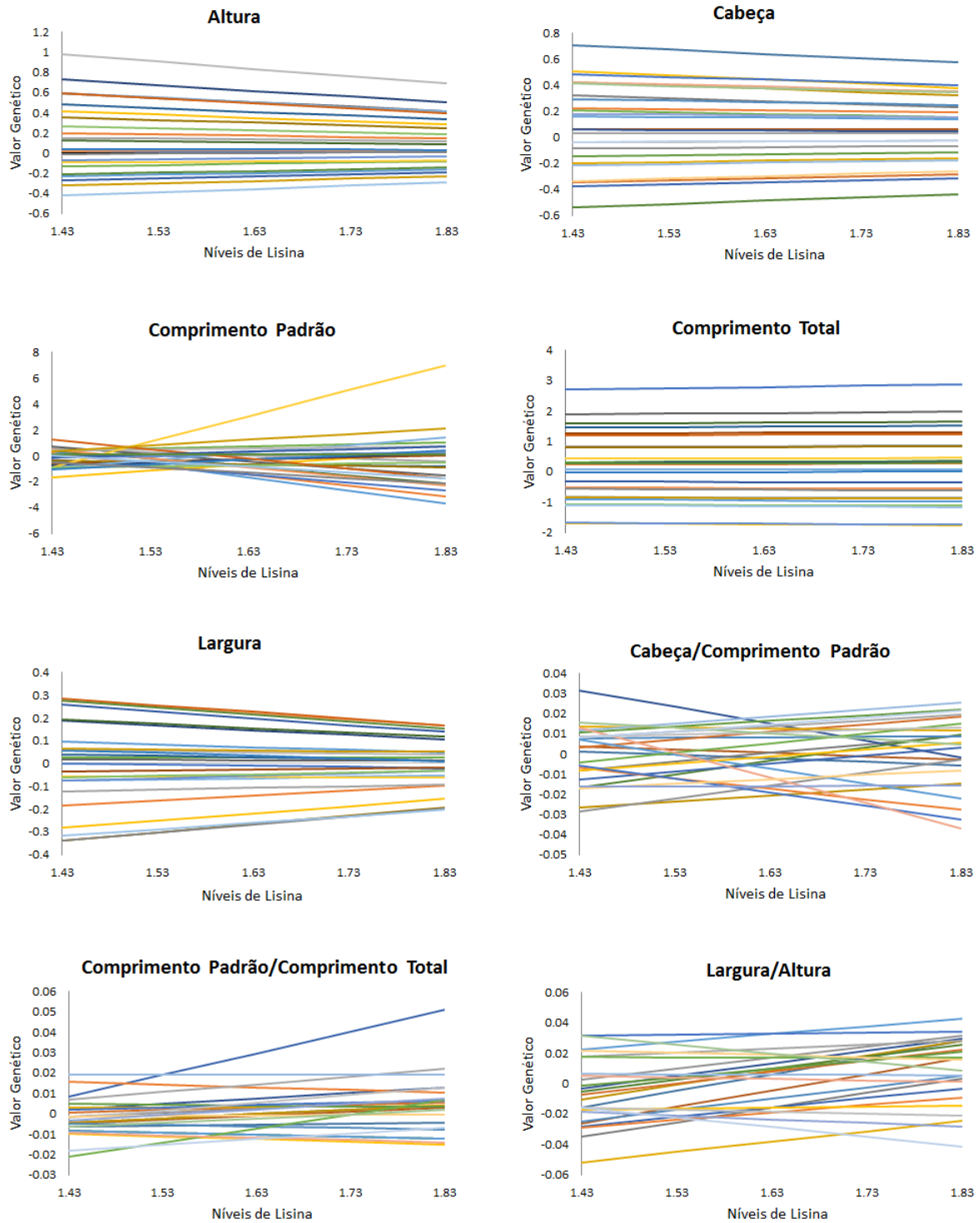
Figura 8 – Normas de reação dos valores genéticos aditivos de 25 tilápias GIFT, amostradas aleatoriamente, quanto às características de desempenho aos 150 dias de idade alimentadas com dietas contendo diferentes níveis de lisina digestível



Para as características altura, comprimento da cabeça e largura não foi observada interação genótipo x ambiente quando analisadas as respectivas correlações genéticas. Entretanto, as normas de reação para as estas características apresentaram alteração na sensibilidade dos valores genéticos com discreta mudança na dispersão dos mesmos, e com o mínimo ou nenhum reordenamento dos indivíduos com a variação do ambiente nutricional. Este comportamento caracteriza a existência de IGA, que segundo Falconer (1987), está presente sempre que correlações estiverem abaixo da unidade, independente da magnitude, indicando que diferentes grupos de genes atuam em diferentes ambientes, contudo não é biologicamente importante se a correlação for muito próxima à unidade (ROBERTSON, 1959).

Os valores genéticos de comprimento total mantiveram-se constantes ao longo do gradiente ambiental avaliado indicando que melhores tilápias selecionadas em um nível de lisina digestível, expressariam todo o seu potencial genético se alimentadas com dietas contendo quaisquer outros níveis desse aminoácido dentro do intervalo nutricional avaliado. Este fato é condizente com a alta correlação genética encontrada para esta característica (FIG. 4), que indica a ausência de IGA.

Figura 9 – Normas de reação dos valores genéticos aditivos de 25 tilápias GIFT, amostradas aleatoriamente, quanto às características morfométricas aos 150 dias de idade alimentadas com dietas contendo diferentes níveis de lisina digestível



Observou-se para comprimento padrão e para as relações cabeça/comprimento padrão, comprimento padrão/comprimento total e largura/altura expressiva alteração no posicionamento dos valores genéticos ao longo do gradiente

nutricional. Este comportamento já era esperado para as relações cabeça/comprimento padrão, comprimento padrão/comprimento total e largura/altura, pois, tais características apresentaram correlações genéticas muito baixas ou negativas (FIG. 5), o que aponta a presença de interação genótipo x ambiente demasiadamente significativa. Normas de reação com este comportamento implicam no fato de que as tilápias capazes de expressar seu melhor potencial em um ambiente não expressariam este potencial em outro ambiente, devendo assim, serem selecionadas apenas no ambiente em que têm maior chance de expressar todo seu potencial genético.

Dessa forma, foi detectada interação genótipo x ambiente para a maioria das características relacionadas ao peso e medidas morfométricas, seja pelo reordenamento dos indivíduos por meio dos valores genéticos seja pela mudança na dispersão dos mesmos.

Na tabela 8 estão apresentadas as estimativas de correlação de Spearman e percentagem de classificação dos indivíduos com base na predição de seus valores genéticos nos diferentes ambientes estudados. A classificação das tilápias para comprimento total e largura em um nível de lisina apresentou-se fortemente associada à classificação no nível de lisina comparado, tendo valores iguais a 1,0 entre todos os pares de lisina avaliados e em todas as porcentagens de seleção (6, 12 e 18%), indicando que não houve mudança no posicionamento dos valores genéticos dos peixes. Desta forma, o percentual de tilápias presentes em 6, 12 e 18% dos indivíduos superiores selecionados foi de 100% para as características morfométricas mencionadas, evidenciando que as avaliações genéticas em qualquer um dos níveis conduzem à seleção do mesmo conjunto de indivíduos.

Valores elevados de correlação de Spearman também foram encontrados para altura, comprimento da cabeça, peso e ganho de peso (GP), variando de 0,92 (peso) a 1,0 (altura) apontando pequena variação na classificação dos indivíduos, de maneira que a maioria dos peixes selecionados no nível mais baixo de lisina digestível, por exemplo, também seria escolhida se a seleção fosse realizada nos níveis intermediário e alto, e reciprocamente.

As características comprimento padrão, relação cabeça/comprimento padrão, relação comprimento padrão/comprimento total (CP/CT), relação largura/altura e ganho de peso diário (GPD) apresentaram estimativas para correlação de Spearman de magnitude muito baixa (-0,40 para largura/altura), média (0,62 para CP/CT) e alta (1,0 para comprimento padrão) (TAB. 8). Segundo Crews Jr. e Franke

(1998), coeficientes de correlação de Spearman menores que 0,70 podem resultar em alterações na classificação dos indivíduos, comprometendo a seleção dos mesmos quando em ambientes distintos. De modo correspondente, a porcentagem de associação dos indivíduos nas faixas de 6, 12 e 18% selecionados como superiores também variou de baixa a alta entre os pares de níveis aminoacídicos, ou seja, os indivíduos selecionados em um nível de lisina possivelmente não serão os mesmos se selecionados em outro nível para algumas características. Tal fato é indicativo da ocorrência de interação genótipo x ambiente, reforçando que a seleção deve ser realizada no ambiente onde foram preditos os melhores valores genéticos para determinada característica de interesse.

Tabela 8 – Correlações de Spearman entre os níveis baixo (1,43%), médio (1,63%) e alto (1,83%) de lisina digestível nas dietas e a porcentagem de associação entre os animais para os 18, 12 e 6 % dos valores genéticos superiores das tilápias GIFT aos 150 dias de idade para as características morfométricas e de desempenho

		1,43 x 1,63	Animais %	1,43 x 1,83	Animais %	1,63 x 1,83	Animais %
<b>Altura</b>	18%	1,00	100,0	1,00	100,0	1,00	100,0
	12%	1,00	100,0	1,00	100,0	1,00	100,0
	6%	0,99	97,5	0,98	97,5	0,99	97,5
<b>Cabeça</b>	18%	0,99	98,4	0,97	96,7	0,99	98,4
	12%	0,99	96,3	0,95	92,6	0,99	96,3
	6%	0,97	97,6	0,91	90,2	0,96	92,7
<b>Compriment o Padrão</b>	18%	0,18	18,5	0,35	9,2	0,79	82,4
	12%	0,66	7,5	0,80	5,0	0,84	78,8
	6%	1,00	5,0	-	2,5	0,76	80,0
<b>Compriment o Total</b>	18%	1,00	97,5	1,00	97,5	1,00	100,0
	12%	1,00	100,0	1,00	100,0	1,00	100,0
	6%	1,00	100,0	1,00	100,0	1,00	100,0
<b>Largura</b>	18%	1,00	100,0	1,00	100,0	1,00	100,0
	12%	1,00	100,0	1,00	100,0	1,00	100,0
	6%	1,00	100,0	1,00	100,0	1,00	100,0
<b>C/CP</b>	18%	0,45	71,4	-0,12	47,1	0,40	75,6
	12%	0,45	53,2	-0,27	22,8	0,39	68,4
	6%	0,61	60,0	0,80	10,0	0,49	47,5
<b>CP/CT</b>	18%	0,40	72,3	0,13	49,6	0,62	77,3
	12%	0,54	64,6	0,29	34,2	0,62	69,6
	6%	0,45	55,0	0,46	27,5	0,54	72,5
<b>L/A</b>	18%	0,46	65,0	0,21	27,4	0,55	62,4
	12%	0,38	64,1	-0,40	24,4	0,46	57,7
	6%	0,29	53,8	0,50	12,8	0,49	51,3
<b>Peso</b>	18%	0,96	93,4	0,92	87,7	0,98	94,3
	12%	0,97	92,6	0,95	88,9	0,99	96,3

	<b>6%</b>	0,97	95,1	0,93	92,7	0,98	95,1
	<b>18%</b>	0,83	85,0	0,33	65,0	0,59	80,0
<b>GPD</b>	<b>12%</b>	0,83	85,0	0,09	55,0	0,52	70,0
	<b>6%</b>	0,86	82,5	0,10	55,0	0,16	72,5
	<b>18%</b>	0,98	96,7	0,94	94,2	0,98	96,7
<b>GP</b>	<b>12%</b>	0,98	95,1	0,96	91,4	0,98	96,3
	<b>6%</b>	0,99	97,5	0,98	92,5	0,99	95,0



## 4 CONCLUSÕES

Modelos de regressão aleatória que consideram heterogeneidade de variância residual são mais adequados para descrever a sensibilidade de valores genéticos de características de desempenho e morfométricas de tilápias GIFT aos 150 dias de idade, alimentadas com dietas contendo diferentes níveis de lisina.

As correlações genéticas e as normas de reação indicaram a presença de interação genótipo x níveis de lisina para a maioria das características avaliadas.

As predições dos valores genéticos para desempenho e medidas morfométricas de tilápias GIFT em fase de crescimento devem ser realizadas no nível de lisina da dieta com o qual as tilápias serão alimentadas.

## REFERÊNCIAS

- BENTSEN, H. B. *et al.* Genetic improvement of farmed tilapias: genetic parameters for body weight at harvest in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) during five generations of testing in multiple environments. **Aquaculture**, 338–341, p.56–65, 2012.
- BREDA, F. C. *et.* Estimação de parâmetros genéticos para produção de leite de cabras da raça Alpina. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.2, p.396-404, 2006.
- BURNHAM K. P.; ANDERSON D. R. Multimodel inference: Understanding AIC and BIC in model selection. **Sociological Methods & Research**, v.33, p.261–304, 2004.
- CREWS JR., D. H.; FRANKE, D. E. Heterogeneity of variances for carcass traits by percentage brahman inheritance. **Journal Animal Science**, v.76, p.1803-1809, 1998.
- DIODATTI, F. C. **Medidas morfométricas no peso e rendimento de componentes corporais de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)**. 2006. 66p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2006.
- FELIPE, V. P. S.; FREITAS, L. S.; SANTOS, G. G.; VALENTE, B. D.; WENCESLAU, R. R.; SILVA, M. A.; CORRÊA, G. S.; CORRÊA, A. B. Utilização de modelos de norma de reação com variância residual heterogênea para estudo de valores genéticos de peso de codornas de corte em função de níveis de proteína bruta na dieta. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.64, n.4, p.991-1000, 2012.
- FERNANDES, A. F. A. **Parâmetros genéticos para peso corporal, rendimento de carcaça e características morfométricas em tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em diferentes idades padrão**. 2014. 44p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, 2014.

FURUYA, W. M. *et al.* Exigência de lisina pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), na terminação. **Ciência Rural**, v.34, n.5, p.1571-1577, 2004.

FURUYA, W.M. *et al.* Aplicação do conceito de proteína ideal para redução dos níveis de proteína em dietas para tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.34, n.5, p.1433-1441, 2005.

KHAW, H. L. *et al.* Genotype by production environment interaction in the GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, 326-329, p.53-60, 2012.

KOLMODIN, R. *et al.* Genotype by environment interaction in Nordic dairy cattle studied using reaction norms. **Acta Agriculturae Scandinavica Section A-Animam Science**, v.52, n.1, p.11-24, 2002.

MEYER, K. “WOMBAT” – Digging deep for quantitative genetic analyses by restricted maximum likelihood. In: WORLD CONGRESS OF GENETICS APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION, 8, 2006, Belo Horizonte. **Proceedings...** Belo Horizonte, 2006, 1 CD-ROM.

MOTA, L. F. M. *et al.* Genotype x dietary (methionine + cystine):Lysine ratio interaction for body weight of meat-type quails using reaction norm models. **Livestock Science**, v.182, p.137-144, 2015.

NEATH A. A.; CAVANAUGH J. E. The Bayesian information criterion: background, derivation, and applications. Wiley Interdiscip. **Reviews Computational Statistics**, v.4, p.199–203, 2012.

NRC - National Research Council. **Nutrient Requirements of warmwater fishes and shellfishes**. Washington: National Academy, p.102, 1993.

PEZZATO, L.E. *et al.* Nutrição de peixes. In: CYRINO, J.E.C.; URBINATI, E.C.; FRACALOSSO, D.M.; CASTAGNOLLI, N. (Ed.) **Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva**. São Paulo: tecArt, p.75-169, 2004.

ROBERTSON, A. The sampling variance of genetic correlation coefficient. **Biometrics** v.15, n.3, p.469-485, 1959.

RODRIGUES, D.T. **Interação genótipos ambientes em animais via modelos de normas de reação**. 2012. Dissertação (Estatística Aplicada e Biometria) UFV, Viçosa: 2012.

ROLLIN, X. *et al.* The optimum dietary indispensable amino acid pattern for growing Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fry. **British Journal of Nutrition**, v.90, p.865-876, 2003.

RUTTEN, M. J. M.; KOMEN, H.; BOVENHUIS, H. Longitudinal genetic analysis of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) body weight using a random regression model. **Aquaculture**, v.246, p.101–113, 2005.

SANTOS, G.G. *et al.* Sensibilidade de valores genéticos de codornas de corte em crescimento às modificações de níveis de proteína das dietas. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.60, n.5, p.1188-1196, 2008.

SANTOS, A. I. Interação genótipo - ambiente e estimativas de parâmetros genéticos em tilápias. 2009. 97p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR, 2009.

SARMENTO, J. L. R. *et al.* Modelos de regressão aleatória na avaliação genética do crescimento de ovinos da raça Santa Inês. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.8, p.1723-1732, 2010.

SAS STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM. **User's guide: Statistics**. Version 9.0, NC; SAS Institute, 2002.

SARMENTO, J.L.R. *et al.* Modelos de regressão aleatória na avaliação genética do crescimento de ovinos da raça Santa Inês. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.8, p.1723-1732, 2010.

SCHWARZ, G. Estimating the dimension of a models. **The Annals of Statistics**, v.6, n.2, p.461-464, 1978.

SU, G. *et al.* Bayesian analysis of the linear reaction norm model with unknown covariates. **Journal Animal. Science**, v.84, p.1651-1657, 2006.

TURRA, E.M. *et al.* Genotype x environment interaction for growth traits of Nile tilapia in biofloc technology, recirculating water and Cage systems. **Aquaculture**, v.460, p.98-104, 2016.

WILSON, R.P.; POE, W.E. Relationship of whole body and egg essential amino acid patterns to amino acid requirement patterns in channel catfish, *Ictalurus punctatus*. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v.80B, n.2, p.385-388, 1985.

YOSHIDA G. M. *et al.* Resposta à seleção de características de desempenho e morfométricas de tilápia-do-nilo ao longo do período de cultivo. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.65, n.6, p.1815-1822, 2013.



## ARTIGO 2

### SENSIBILIDADE DOS VALORES GENÉTICOS DE TILÁPIAS DO NILO, VARIEDADE GIFT, AOS NÍVEIS DE LISINA DIGESTÍVEL DAS DIETAS

#### RESUMO

Objetivou-se com este estudo avaliar a sensibilidade dos valores genéticos de características de desempenho de tilápias do Nilo, linhagem GIFT, com idade entre 185 e 255 dias, aos níveis de lisina digestível das dietas. Foram identificadas por *microchip* 700 tilápias, de ambos os sexos, oriundas de 26 famílias e distribuídas em cinco tratamentos com sete repetições cada. Os tratamentos consistiram de cinco níveis de lisina digestível (1,28, 1,38, 1,48, 1,58 e 1,68). As variáveis avaliadas foram peso vivo, ganho de peso diário e ganho de peso total aos 185, 220 e 255 dias de idade das tilápias. Foram testados modelos com homogeneidade (1 classe) e heterogeneidade (2, 3 e 4 classes) de variância residual por meio do BIC e da probabilidade do modelo. Foram calculadas as variâncias aditivas, de família e herdabilidades. Os valores genéticos foram obtidos e a sensibilidade avaliada por meio de correlações genéticas, modelos de normas de reação e correlação de Spearman que permitem identificar a presença e magnitude da interação genótipo x ambiente no gradiente nutricional estudado. Modelos de regressão aleatória que consideram homogeneidade de variância residual foram mais adequados para avaliar a sensibilidade dos valores genéticos das características de desempenho de tilápias GIFT aos níveis de lisina digestível das dietas. As estimativas de herdabilidade e variância genética aditiva, no geral, decresceram gradualmente com o aumento de lisina digestível nas dietas. Ocorreu interação genótipo x nível de lisina digestível em todas as características nas três idades avaliadas, seja pela alteração na dispersão dos valores genéticos, seja pelo reordenamento dos mesmos. A seleção baseada em ganho de peso diário na fase de terminação deve ser praticada utilizando-se dietas com o mesmo percentual de lisina que as tilápias serão alimentadas no sistema de produção.

**Palavras-chave:** *Oreochromis niloticus*. Desempenho. Interação genótipo x ambiente. Modelos de regressão aleatória.



## ARTICLE 2

### SENSITIVITY OF BREEDING VALUES OF NILE TILAPS, GIFT STRAIN, TO DIETARY DIGESTIVE LYSINE LEVEL

#### ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the sensitivity of breeding values of performance traits of Nile tilaps, GIFT lineage, recorded between 185 and 255 days of age to dietary lysine level. A total of 700 tilapia, of both sexes, from 26 full sib families was identified by microchip and distributed in five treatments with seven replicates. The treatments consisted of five levels of digestible lysine (1.28, 1.38, 1.48, 1.58 and 1.68). The evaluated variables were live weight, daily weight gain and total weight gain at 185, 220 and 255 days of tilapia. We tested models of homogeneity (1 class) and heterogeneity (2, 3 and 4 classes) of residual variance using BIC and model probability. The additive, family and heritability variances were calculated. The breeding values were obtained and their sensitivity was evaluated by means of genetic correlations, reaction norm models and Spearman correlations that allow to identify the presence and magnitude of the genotype x environment interaction in the studied nutritional gradient. Random regression models that considered homogeneity of residual variance were more adequate to evaluate the sensitivity of breeding values of performance traits of tilaps, GIFT strain, to dietary digestible lysine levels. In general heritability and additive genetic variance estimates gradually decreased with the increase of dietary digestible lysine levels. Genotype x digestible lysine level interaction for all traits at the three ages occurred either by the alteration in the dispersion or in the ranking of the breeding values. Selection based on daily weight gain in the finishing phase should be practiced using diets with the same percentage of digestible lysine that the tilapia will be fed in the production system.

**Keywords:** *Oreochromis niloticus*. Performance. Genotype x environment interaction. Random regression models.





## 1 INTRODUÇÃO

Com o avanço na área de nutrição de espécies aquícolas e a busca por dietas balanceadas para melhor aproveitamento dos nutrientes, menor poder poluente das excretas e redução de custos, o propósito da formulação de rações para peixes passou a ser o equilíbrio ideal entre os aminoácidos digestíveis (GONÇALVES *et al.*, 2009).

Sobre o conceito de proteína ideal que consiste no balanceamento adequado de aminoácidos digestíveis de forma a atender as exigências em aminoácidos essenciais e não essenciais para manutenção e/ou a máxima produção da espécie, onde cada aminoácido essencial deve ser expresso em relação a um aminoácido, a lisina foi adotada como o aminoácido de referência (PARSON; BAKER, 1994). A lisina tornou-se referência por ser economicamente encontrada na forma sintética, pelo número de informações sobre suas exigências, pelo baixo custo, pela rapidez de sua análise e por ser utilizada exclusivamente para a síntese de proteína corporal (FURUYA *et al.*, 2005).

A determinação da exigência de lisina nas dietas permite o balanceamento ideal de aminoácidos, promovendo retorno econômico por meio do melhor desempenho e qualidade da carcaça dos peixes (FURUYA *et al.*, 2004).

Uma forma de avaliar a influência de diferentes dietas no desempenho dos peixes é por meio do estudo da interação genótipo x ambiente, uma vez que todos os fatores que não têm origem genética são considerados de origem ambiental. Sendo assim, o comportamento de diferentes genótipos em ambientes distintos (nutricionais), pode ser inserido no conceito de interação genótipo x ambiente, o que poderia resultar em alterações na classificação dos genótipos em ensaios de competição ou mudanças nos valores das diferenças entre genótipos de um ambiente para outro (SILVA, 2008).

Os modelos de regressão aleatória são eficientes para avaliação da interação genótipo x ambiente em características longitudinais, como peso e medidas morfométricas, que se alteram de forma gradual e contínua ao longo do tempo (MEYER, 2000). Esses modelos também são utilizados para a predição das normas de reação, pois, consideram as características como funções contínuas de um gradiente ambiental, como, por exemplo, diferentes níveis de aminoácidos da dieta (VELOSO *et al.*, 2015).

Sendo assim, objetivou-se neste estudo avaliar a interação genótipo x níveis de lisina digestível das dietas de tilápias do Nilo, linhagem GIFT, em características de desempenho aos 185, 220 e 255 dias de idade, utilizando modelos de normas de reação.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente experimento foi conduzido no setor de Aquicultura da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Campus JK, localizada em Diamantina, Minas Gerais. A pesquisa foi aprovada pela Comissão de Ética no Uso de Animais da UFVJM (CEUA), protocolada como nº 057/2015. O experimento ocorreu no período de novembro de 2015 a agosto de 2016, que iniciou com o acasalamento e montagem das famílias, e seguiu com pesagens intercaladas de 35 dias aproximadamente, de todos os indivíduos.

Foram utilizadas 26 fêmeas e 20 machos de tilápias, que originaram as 26 famílias de irmãos completos. Todos os peixes foram identificados com *microchips* (*pit tags*). Cada macho foi alojado com 3 fêmeas em tanques de 1 m<sup>3</sup>, mantidos em sistema de recirculação de água, com trocador de calor ( $\pm 25^{\circ}\text{C}$ ), lâmpada ultra-violeta, filtros mecânico de areia e biológico, aeração constante e fotoperíodo natural. Ao final de uma semana, as fêmeas que possuíam ovos na boca foram separadas dos machos, sendo os ovos retirados da cavidade oral e transferidos para um incubatório cilíndrico (1,7 L), identificado pelos números dos progenitores, onde os ovos permaneciam em suspensão devido ao fluxo de água constante. As fêmeas que não possuíam ovos permaneciam com os machos, por mais sete dias, para nova tentativa de reprodução.

Os incubatórios eram conectados a aquários (3,4 L) aos quais as larvas eclodidas passavam ao começarem a nadar. O conjunto incubatório-aquário compunha um sistema de recirculação de água com temperatura controlada por aquecedores, onde era alojada uma família, de modo que nem os ovos e nem as larvas de diferentes famílias pudessem se misturar (FIG 1).

Figura 1 – Sistema de incubação



Após a fase de larvas, as pós-larvas foram transferidas para compartimentos com capacidade de 70 L, em sistema de recirculação com aeração e temperatura mantida em torno de 27,5° a 28,5°C. As pós-larvas eram alimentadas com dieta triturada contendo 45% de proteína bruta (TAB. 1) 4 vezes ao dia, até se tornarem alevinos. A partir daí os peixes de cada família foram individualmente transferidos para reservatórios de 140 L, montados dentro de uma estufa, também em sistema de recirculação ligado a um filtro mecânico, com temperatura e oxigênio controlados. Nesse sistema os alevinos receberam dieta triturada com 32% de proteína bruta (TAB. 1) até atingirem peso médio de 20g.

Tabela 1 – Composição da dieta fornecida às larvas até a fase de alevinos com 20g

<b>Ingredientes</b>	<b>Níveis de garantia – 45% PB*</b>	<b>Níveis de garantia – 32% PB**</b>
Umidade (%)	10,0	10,0
Proteína bruta (%)	45,0	32,0
Extrato etéreo (%)	8,0	6,0
Matéria mineral (%)	15,0	13,0
Fibra bruta (%)	4,0	5,5
Cálcio (g/kg)	30,0	25,0
Fósforo (g/kg)	8,0	6,0
Vitamina C (mg/kg)	600,0	300,0

\* Nutripiscis AL 45 2,6mm

\*\*Nutripiscis TRV 32 4,0mm

Ao atingirem peso médio de 20 g, todos os peixes foram pesados em balança de precisão de 0,01g e identificados com inserção de um *microchip* na região ventral.

Para iniciar o experimento, os peixes foram alocados em 35 reservatórios circulares de polietileno com volume de 1m<sup>3</sup>, que formariam os 5 tratamentos (níveis de lisina digestível) com 7 repetições em cada um deles (FIG. 2). A distribuição dos peixes foi feita aleatoriamente de modo que pelo menos um indivíduo de cada família estivesse presente nos 5 tratamentos, até formar um lote de 20 alevinos por tanque (repetição), totalizando 140 por tratamento e 700 peixes no experimento.

Figura 2 – Sistema de recirculação formado por tanques de 1m<sup>3</sup>



A estrutura onde se realizou o experimento era localizada dentro de uma estufa transparente com cortinas laterais, de modo que se pudesse manter a luminosidade e controlar a temperatura ambiente. Os tanques eram interligados formando um sistema de recirculação fechado, com filtro mecânico, filtro biológico e luz ultravioleta. O sistema funcionava com troca diária de 50% da água, oxigenação por aeração forçada e temperatura controlada por meio de um trocador de calor elétrico. Os parâmetros físico-químicos das águas dos tanques foram monitorados semanalmente e o oxigênio se manteve acima de 4 mg/l, a amônia abaixo de 0,5mg/l, o pH entre 7,0 e 7,5 e a temperatura, entre 26° C e 29° C. A parede do interior das caixas era limpa toda semana, com retirada de 50% da água, a fim de manter os parâmetros de qualidade.

Sete dias antes do início do ensaio, todos os peixes receberam dieta experimental controle, para a adaptação de ingestão e fisiológica. As cinco dietas experimentais da primeira fase do experimento, formuladas de acordo com as exigências dos peixes com peso de 20 a 100g (NRC, 1993) constam na Tabela 2.

Ingredientes (%)	Níveis de lisina digestível (%)				
	1,43	1,53	1,63	1,73	1,83
Farelo de soja 45%	46,69	46,69	46,69	46,69	46,69
Quirera de arroz	22,66	22,66	22,66	22,66	22,66
Milho moído	9,40	9,40	9,40	9,40	9,40
Glúten 60%	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Óleo de soja	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Calcário calcítico	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Fosfato bicálcico	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Sal comum	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Inerte (Caulim)	0,617	0,777	0,892	1,025	1,128
Suplemento vit e min(1)	0,5	0,50	0,50	0,50	0,50
Vitamina C	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
L-lisina HCl	0,052	0,181	0,310	0,439	0,568
D,L-metionina	0,306	0,362	0,426	0,487	0,548
L-treonina	0,265	0,500	0,542	0,649	0,756
L-ácido glutâmico	1,760	1,180	0,830	0,400	-
BHT	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Composição calculada(2)					
Matéria seca (g/kg)	84,58	84,92	85,23	85,54	85,83
Energia digestível (kcal/kg)	3190,0	3190,0	3190,0	3190,0	3190,0
Proteína bruta (g/kg)	31,42	31,42	31,42	31,42	31,42
Proteína digestível (g/kg)	29,09	29,09	29,09	29,09	29,09
Fibra bruta	3,15	3,15	3,15	3,15	3,15
Extrato etéreo	2,53	2,53	2,53	2,53	2,53
Fósforo total	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
Fósforo disponível	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68
Cálcio total	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93
Lisina total	1,53	1,63	1,73	1,83	1,93
Lisina digestível	1,43	1,53	1,63	1,73	1,83
Met + Cist total	1,26	1,31	1,37	1,44	1,50
Met + Cist digestível	0,87	0,92	0,98	1,04	1,10
Treonina total	1,45	1,56	1,67	1,78	1,89
Treonina digestível	1,10	1,18	1,25	1,33	1,41
Arginina total	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91
Arginina digestível	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66
Leucina total	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98
Leucina digestível	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95
Triptofano total	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
Triptofano digestível	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
Amido	30,08	30,08	30,08	30,08	30,08
Ácido linoleico	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27

Tabela 2 - Composição das dietas experimentais para fase de crescimento de tilápias do Nilo

(1) Composição por quilograma do produto: 1.200.000 UI de Vitamina A; 200.000 UI de Vitamina D3; 1.200 mg de Vitamina E; 2.400 mg de Vitamina K3; 4.800 mg de Vitamina B1; 4.800 mg de Vitamina B2; 4.800 mg de Vitamina B6; 4.800 mg de Vitamina B12; 48 g de Vitamina C; 1200 mg de ácido fólico (*folic acid*); 12.000 mg de pantotenato de Ca (*panthotenic acid*); 48 mg de biotina (*biotin*); 108 g de cloreto de colina (*cholin*); 24.000 mg de niacina (*niacin*); 50.000 mg de Fe; 3.000 mg de Cu; 20.000 mg de Mn; 30.000 mg de Zn; 100 mg de I; 10 mg de Co; 100 mg de Se.

As dietas foram fornecidas quatro vezes ao dia, às 8, 11, 14 e 17 horas, até a saciedade aparente dos peixes. Qualquer sobra de dieta sobrenadante era retirada com uma peneira ao final do manejo, em todos os horários do trato. A temperatura da água foi medida e registrada diariamente, às 8 e às 16 horas. Ao final desta primeira fase experimental, cada peixe de cada repetição foi pesado.

Para iniciar a segunda fase do experimento, todos os peixes foram retirados dos tanques e redistribuídos aleatoriamente aos tratamentos da segunda fase para evitar o efeito residual do nível de lisina digestível do primeiro experimento sobre o desempenho, características de carcaça e qualidade da carne. Foi mantida a lotação média de 20 peixes por repetição. Em seguida, foi fornecida uma segunda dieta apropriada para a fase (TAB. 3) contendo cinco níveis de lisina sendo mantido o mesmo manejo alimentar.

Tabela 3 - Dietas experimentais para tilápias do Nilo em terminação

Ingredientes (%)	Níveis de lisina digestível (%)				
	1,28	1,38	1,48	1,58	1,68
Farelo de soja 45%	41,24	41,24	41,24	41,24	41,24
Quirera de arroz	13,18	13,18	13,18	13,18	13,18
Milho moído	19,07	19,07	19,07	19,07	19,07
Glúten 60%	12,38	12,38	12,38	12,38	12,38
Óleo de soja	3,05	3,05	3,05	3,05	3,05
Calcário calcítico	2,73	2,73	2,73	2,73	2,73
Fosfato bicálcico	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10
Sal comum	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Inerte (Caulim)	2,484	2,612	2,737	2,865	2,99
Suplemento vit e min <sup>(1)</sup>	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Vitamina C	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
L-lisina HCl	0,019	0,149	0,278	0,407	0,536
D,L-metionina	0,325	0,396	0,457	0,529	0,590
L-treonina	0,412	0,523	0,648	0,759	0,884
L-ácido glutâmico	1,760	1,320	0,880	0,440	0
Antioxidante (BHT)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Composição calculada <sup>(2)</sup>					
Matéria seca (%)	84,94	85,27	85,58	85,90	86,21
Energia digestível (kcal/kg)	3170,0	3170,0	3170,0	3170,0	3170,0
Proteína bruta (%)	30,51	30,51	30,51	30,51	30,51
Proteína digestível (%)	28,49	28,49	28,49	28,49	28,49
Fibra bruta (%)	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Extrato etéreo (%)	4,84	4,84	4,84	4,84	4,84
Fósforo total (%)	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
Fósforo disponível (%)	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51
Cálcio total (%)	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60
Lisina total (%)	1,37	1,48	1,58	1,68	1,78

Lisina digestível (%)	1,28	1,38	1,48	1,58	1,68
Met + Cist total (%)	1,27	1,34	1,40	1,47	1,53
Met + Cist digestível (%)	0,83	0,90	0,96	1,03	1,09
Treonina total (%)	1,51	1,62	1,74	1,85	1,97
Treonina digestível (%)	1,07	1,15	1,24	1,32	1,41
Arginina total (%)	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77
Arginina digestível (%)	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49
Leucina total (%)	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07
Leucina digestível (%)	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Triptofano total (%)	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Triptofano digestível (%)	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
Amido (%)	28,71	28,71	28,71	28,71	28,71
Ácido linoleico (%)	2,53	2,53	2,53	2,53	2,53

<sup>(1)</sup>Composição por quilograma do produto: 1.200.000 UI de Vitamina A<sub>3</sub>; 200.000 UI de Vitamina D<sub>3</sub>; 1.200 mg de Vitamina E; 2.400 mg de Vitamina K<sub>3</sub>; 4.800 mg de Vitamina B<sub>1</sub>; 4.800 mg de Vitamina B<sub>2</sub>; 4.800 mg de Vitamina B<sub>6</sub>; 4.800 mg de Vitamina B<sub>12</sub>; 48 g de Vitamina C<sub>3</sub>; 1200 mg de ácido fólico (*folic acid*); 12.000 mg de pantotenato de Ca (*panthotenic acid*); 48 mg de biotina (*biotin*); 108 g de cloreto de colina (*cholin*); 24.000 mg de niacina (*niacin*); 50.000 mg de Fe; 3.000 mg de Cu; 20.000 mg de Mn; 30.000 mg de Zn; 100 mg de I; 10 mg de Co; 100 mg de Se.

A segunda fase do experimento teve duração de 100 dias, durante os quais, a cada 30 dias, aproximadamente, foi realizada pesagem dos peixes, sendo a última pesagem no dia do abate, quando os peixes apresentavam peso médio de 300g.

A fim de manter a consistência do banco de dados, foram descartadas informações de peixes com sexo não identificado. Para efetuar as análises estatísticas e genéticas, os pesos de cada peixe, foram ajustados para 185, 220 e 255 dias de idade, admitindo-se crescimento linear destas características. Os ganhos de peso diário e total foram calculados com relação à idade anterior, no caso, as medidas aos 185 dias foram calculadas com base no intervalo contado a partir dos 150 dias (medias do final da fase de crescimento/início da fase de terminação).

$y = Xb + Z_1u + Z_2f + e$ ; O modelo utilizado para a análise em notação matricial pode ser definido como:

em que  $y$  é o vetor com as observações,  $b$  é o vetor de efeitos fixos de sexo;  $u$  e  $f$  são vetores com coeficientes de regressão relativos aos efeitos genético aditivo direto e família, respectivamente;  $X$ ,  $Z_1$  e  $Z_2$  são matrizes de incidência nas observações dos efeitos nos vetores  $b$ ,  $u$  e  $f$ , respectivamente, contendo os polinômios de Legendre relativos a cada nível de Lisina, e  $e$  é o vetor dos resíduos.

Consideraram-se nas análises existências de classes de variância residual homogênea a heterogêneas, segundo diferentes níveis de lisina, sendo:  
Classe 1: variância residual homogênea (1,28 a 1,68%);



Classe 2: variâncias heterogêneas em duas classes diferentes (1,28 a 1,38; 1,39 a 1,68%);

Classe 3: variâncias heterogêneas em três classes (1,28 a 1,38; 1,39 a 1,48; 1,49 a 1,68%);

Classe 4: variâncias heterogêneas em quatro classes (1,28 a 1,38; 1,39 a 1,48; 1,49 a 1,58; 1,59 a 1,68%).

As premissas dos modelos foram:

$$E(y) = Xb;$$

$$E(Z_1 u) = E(Z_2 f) = E(e) = 0;$$

$$G = \begin{bmatrix} \sigma_{b_0}^2 & \sigma_{b_0, b_1} \\ \sigma_{b_1, b_0} & \sigma_{b_1}^2 \end{bmatrix}; e$$

$$V(y) = Z_1(A G)Z_1' + Z_2(I_m F)Z_2' + I_n;$$

em que:  $\sigma_{b_0}^2$  e  $\sigma_{b_1}^2$  são componentes de variância atribuídos aos coeficientes de regressão aleatória intercepto ( $b_0$ ) e de regressão linear ( $b_1$ ) do efeito genético aditivo direto,  $\sigma_{b_0, b_1}$  é o componente de covariância entre os coeficientes de regressão aleatória ( $b_0$  e  $b_1$ ) do efeito genético aditivo direto,  $\sigma_{e_i}^2$  é o componente de variância residual  $i = 1, 2, 3$  e  $4$  (1- homogênea, 2, 3 e 4 –heterogênea com duas, três e quatro classes de variâncias residuais respectivamente),  $A$  é a matriz de numeradores do coeficiente de parentesco de Wright,  $G$  e  $F$  são matrizes (a ordem é em função da ordem do polinômio do modelo) que contêm componentes de covariância dos coeficientes de regressão aleatórios dos efeitos genéticos aditivos e família, respectivamente,  $I_n$  é a matriz identidade,  $m$  é o número de fêmeas com progênie e  $n$  é o número de observações.

Comparações entre os modelos para determinar o melhor quanto ao ajuste da trajetória média fixa (linear ou quadrática), com diferentes classes de variância residual (homogênea ou heterogêneas), foram feitas pelo critério de informação bayesiano (BIC), proposto por Schwarz (1978):

$$BIC = -2 \log L + p \log_e(N - r),$$

em que  $p$  refere-se ao número de parâmetros do modelo,  $N$  é o número total de observações,  $r$  é o posto da matriz de incidência para os efeitos fixos, e  $\log L$  é o logaritmo decimal da função de verossimilhança.

A probabilidade do modelo (BURNHAM; ANDERSON, 2004; NEATH; CAVANAUGH, 2012) foi calculada a partir do modelo com o melhor valor de BIC (aqueles com o menor valor de BIC).

Foi utilizada, para obter a covariância genética aditiva entre o nível de lisina digestível  $i$  e  $j$ , a seguinte fórmula:

$$\sigma_{a_{ij}} = Z_i G Z_j'$$

em que  $Z_i = [\Phi_0(i) \quad \Phi_1(i)]$  e  $Z_j = [\Phi_0(j) \quad \Phi_1(j)]$ , sendo  $\phi_0(i)$  e  $\phi_1(i)$  polinômios estimados ao nível de lisina  $i$  para os efeitos intercepto e linear, respectivamente.

A estimativa da herdabilidade direta foi realizada em função do nível de lisina da dieta, da seguinte maneira:

$$h_{d_i}^2 = \frac{Z_i G Z_i'}{Z_i G Z_i' + Z_i F Z_i' + \sigma_e^2},$$

em que  $i$  representa o nível de lisina da dieta,  $j$  refere-se à classe residual a qual o nível faz parte,  $d$  é a herdabilidade direta.

As estimativas de covariâncias foram obtidas por meio do programa WOMBAT (MEYER, 2006) que utiliza a Máxima Verossimilhança Restrita (REML).

O modelo de regressão aleatória e a interação genótipo x ambiente foram verificados por plotagem da norma de reação por amostragem aleatória de 25 tilápias diferentes para cada característica, de acordo com os diferentes níveis dietéticos de lisina digestível para demonstrar o padrão dos valores genéticos.

Foram estimadas as correlações de postos de Spearman, a partir dos valores genéticos preditos nas análises uni-características, para cada par dos níveis de lisina digestível nas dietas. As correlações de Spearman foram obtidas para 6, 12 e 18% dos animais com maior valor genético para entre os níveis alto, médio e baixo de lisina, usando o procedimento CORR (S.A.S. versão 9.0) para melhor avaliar as classificações dos peixes.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estatísticas descritivas do peso, ganho de peso diário e ganho de peso ajustados para 185, 220 e 255 dias de idade de tilápias da linhagem GIFT alimentadas com dietas contendo deferentes níveis de lisina (1,28, 1,38, 1,48, 1,58 e 1,68%) constam nas tabelas 4 e 5.

Observa-se, no geral, grande variabilidade dos dados representada pelos altos coeficientes de variação e pela distância entre os valores mínimos e máximos indicados (TAB. 4). Tal fato pode ser explicado pela presença de dominância de alguns indivíduos sobre outros na captura do alimento fornecido, uma vez que os peixes não foram separados por sexo, podendo os machos se sobressaírem com relação às fêmeas quanto ao desempenho dos mesmos devido à maturidade sexual e alterações fisiológicas ocorrentes nesta fase.

Tabela 4 – Estatística descritiva dos dados utilizados nas análises de tilápias da linhagem

<b>Idade</b>	<b>Característica</b>	<b>N<sup>1</sup></b>	<b>MP<sup>2</sup></b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>DP<sup>3</sup></b>	<b>CV<sup>4</sup> (%)</b>
<b>185 dias</b>	<b>Peso</b>	651	697	29,74	280,03	137,15	46,03	33,56
	<b>GPD</b>	650	696	-0,04	3,81	1,71	0,66	38,43
	<b>GP</b>	638	684	1,29	156,75	57,75	22,48	38,92
<b>220 dias</b>	<b>Peso</b>	641	687	38,19	428,08	207,45	65,58	31,61
	<b>GPD</b>	640	686	-0,2	4,4	2,00	0,78	39,29
	<b>GP</b>	637	683	-13,15	148,05	70,29	27,68	39,38
<b>255 dias</b>	<b>Peso</b>	642	688	43,84	503,03	267,05	81,73	30,60
	<b>GPD</b>	638	684	-0,58	5,32	1,77	0,87	49,00
	<b>GP</b>	631	677	-35,94	174,72	60,37	33,65	55,75

GIFT aos 185, 220 e 255 dias de idade para as características peso, ganho de peso diário (GPD) e ganho de peso (GP)

<sup>1</sup>Número de observações; <sup>2</sup>Matriz de parentesco; <sup>3</sup>Desvio Padrão; <sup>4</sup>Coefficiente de Variação.

Valores negativos do ganho de peso diário e do ganho de peso indicam perda de peso em alguns peixes evidenciando a presença de dominância no ambiente estudado. Maiores médias de peso foram encontradas por Rutten, Komen e Bovenhuis (2005), ao avaliarem peso corporal de tilápias do Nilo em idades distintas (202 e 234 dias de idade). Entretanto, os mesmos autores obtiveram menores desvios-padrão do que os observados no presente estudo para peso, indicando maior uniformidade do

material experimental utilizado pelos referidos autores, constituído de famílias oriundas de quatro linhagens (AIT, GIFT, IDRC e Gfttingen).

Característica	Idade (dias)	Níveis de Lisina (%)									
		1,28		1,38		1,48		1,58		1,68	
		Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
<b>Peso</b>		133,57	35,69	140,73	34,65	142,30	33,17	129,56	31,47	139,64	31,91
<b>GPD</b>	<b>185</b>	1,70	39,25	1,75	39,07	1,77	38,73	1,53	36,50	1,83	36,32
<b>GP</b>		56,39	37,88	59,69	39,30	59,92	38,78	52,79	39,47	59,97	38,15
<b>Peso</b>		198,06	33,51	215,40	31,26	207,83	33,12	195,00	29,89	221,13	28,80
<b>GPD</b>	<b>220</b>	1,82	42,47	2,07	35,73	1,89	45,22	1,88	37,35	2,33	32,11
<b>GP</b>		64,81	40,89	73,22	36,68	66,15	45,87	65,95	38,02	81,27	32,27
<b>Peso</b>		246,29	31,74	282,53	31,06	273,28	30,28	252,50	29,95	281,89	27,70
<b>GPD</b>	<b>255</b>	1,52	56,82	1,94	49,97	1,83	43,70	1,73	47,34	1,84	44,92
<b>GP</b>		49,79	71,04	67,04	56,53	63,90	43,44	60,85	51,25	60,76	53,90

Tabela 5 – Médias e coeficientes de variação (CV, em percentagem) das características peso, ganho de peso diário (GPD) e ganho de peso (GP) de tilápias GIFT aos 185, 220 e 255 dias de idade, em diferentes níveis de lisina digestível

As médias e coeficientes de variação das características de desempenho avaliadas no gradiente nutricional estudado (níveis de lisina, em percentagem), aos 185, 220 e 255 dias de idade, constam na Tabela 5. Nota-se que os coeficientes de variação foram muito altos, com valores acima de 30%, indicando elevada heterogeneidade entre os dados, exceto para peso nos níveis de 1,58 e 1,68% de lisina aos 220 e 255 dias de idade que se apresentaram abaixo de 30%, mas ainda assim são considerados coeficientes altos.

A tabela 6 exibe a avaliação de modelos com diferentes classes de variância residual e trajetórias com base no cálculo do menor BIC (*Bayesian Information Criterion*) e na probabilidade do modelo, para as características de desempenho estudadas em três idades sucessivas (185, 220 e 255 dias) de tilápias GIFT em fase de terminação.

O modelo que melhor se ajustou aos dados considerou homogeneidade de variância residual (uma classe), exceto para GPD e GP aos 255 dias de idade, em que o melhor modelo ajustado foi o que considerou 3 classes de variância residual (heterogeneidade de variância). Com relação à trajetória média dos dados, todos os modelos designados como melhores estão incluídos na trajetória média quadrática (TAB. 6).

Tabela 6 – Avaliação de modelos com diferentes classes de variância residual pelo critério de informação bayesiano (BIC) e pela probabilidade do modelo para peso, ganho de peso diário (GPD) e ganho de peso (GP) de tilápias GIFT, aos 185, 220 e 255 dias de idade, em diferentes níveis de lisina digestível

Característica Idade (dias)	Trajectoria Média	Nº de Classes de variância residual	Nº Observações	Nº de parâmetros	Log L <sup>2</sup>	BIC	Probabilidade
<b>Peso 185</b>	Linear	1 Classe	651	7	- 2740,904	5501,503	51,21
		2 classes	651	8	- 2740,838	5504,185	195,74
		3 classes	651	9	- 2740,562	5506,446	606,42
		4 Classes	651	10	- 2740,531	5509,198	2400,35
<b>Peso 185</b>	Quadrática	<b>1 Classe</b>	<b>651</b>	<b>7</b>	- <b>2736,968</b>	<b>5493,631</b>	<b>1,00</b>
		2 classes	651	8	- 2736,895	5496,299	3,80
		3 classes	651	9	- 2736,513	5498,348	10,58
		4 Classes	651	10	- 2736,441	5501,018	40,18
<b>GMD 185</b>	Linear	1 Classe	650	7	-43,338	106,366	6,50
		2 classes	650	8	-43,336	109,175	26,48
		3 classes	650	9	-42,745	110,806	59,85
		4 Classes	650	10	-42,707	113,543	235,18
<b>GMD 185</b>	Quadrática	<b>1 Classe</b>	<b>650</b>	<b>7</b>	<b>-41,466</b>	<b>102,622</b>	<b>1,00</b>
		2 classes	650	8	-41,463	105,429	4,07
		3 classes	650	9	-40,532	106,380	6,55
		4 Classes	650	10	-40,362	108,853	22,54
<b>GP 185</b>	Linear	1 Classe	638	7	- 2263,088	4545,810	55,26
		2 classes	638	8	- 2262,817	4548,073	171,30
		3 classes	638	9	- 2262,293	4549,829	412,33
		4 Classes	638	10	- 2262,265	4552,578	1629,83
<b>GP 185</b>	Quadrática	<b>1 Classe</b>	<b>638</b>	<b>7</b>	- <b>2259,076</b>	<b>4537,786</b>	<b>1,00</b>
		2 classes	638	8	- 2258,807	4540,053	3,11
		3 classes	638	9	- 2258,091	4541,425	6,17
		4 Classes	638	10	- 2258,090	4544,228	25,06
<b>Peso 220</b>	Linear	1 Classe	641	7	- 2919,265	5858,178	9292,84
		2 classes	641	8	- 2919,232	5860,919	36586,30
		3 classes	641	9	-	5863,148	111508,72

					2918,943			
		4 Classes	641	10	-	2918,871	5865,811	422222,22
		<b>1 Classe</b>	<b>641</b>	<b>7</b>	<b>-</b>	<b>2910,128</b>	<b>5839,904</b>	<b>1,00</b>
<b>Peso 220</b>	Quadrática	2 classes	641	8	-	2910,116	5842,687	4,02
		3 classes	641	9	-	2909,829	5844,920	12,28
		4 Classes	641	10	-	2909,821	5847,711	49,57
		<b>1 Classe</b>	<b>640</b>	<b>7</b>	<b>-120,403</b>	<b>260,449</b>	<b>1183,23</b>	
<b>GMD 220</b>	Linear	2 classes	640	8	-120,345	263,139	4541,85	
		3 classes	640	9	-120	265,256	13084,45	
		4 Classes	640	10	-119,985	268,032	52431,87	
		<b>1 Classe</b>	<b>640</b>	<b>7</b>	<b>-113,327</b>	<b>246,297</b>	<b>1,00</b>	
<b>GMD 220</b>	Quadrática	2 classes	640	8	-113,188	248,825	3,54	
		3 classes	640	9	-113,014	251,284	12,10	
		4 Classes	640	10	-112,912	253,886	44,45	
		1 Classe	637	7	-	2373,074	4765,777	28395,90
<b>GP 220</b>	Linear	2 classes	637	8	-	2373,018	4768,469	109105,41
		3 classes	637	9	-	2372,602	4770,441	292476,45
		4 Classes	637	10	-	2372,601	4773,243	1187319,91
		<b>1 Classe</b>	<b>637</b>	<b>7</b>	<b>-2362,82</b>	<b>4745,269</b>	<b>1,00</b>	
<b>GP 220</b>	Quadrática	2 classes	637	8	-	2362,807	4748,047	4,01
		3 classes	637	9	-2362,6	4750,437	13,25	
		4 Classes	637	10	-	2362,563	4753,167	51,89
		1 Classe	642	7	-	3068,781	6157,215	798108,63
<b>Peso 255</b>	Linear	2 classes	642	8	-	3068,774	6160,008	3226045,09
		3 classes	642	9	-	3067,049	6159,365	2339704,10
		4 Classes	642	10	-	3066,929	6161,933	8446836,43
		<b>1 Classe</b>	<b>642</b>	<b>7</b>	<b>-</b>	<b>3055,191</b>	<b>6130,035</b>	<b>1,00</b>
<b>Peso 255</b>	Quadrática	2 classes	642	8	-	3055,161	6132,782	3,95
		3 classes	642	9	-	3053,568	6132,404	3,27
		4 Classes	642	10	-	3053,554	6135,183	13,12
		1 Classe	638	7	-209,268	438,170	25,41	
<b>GMD 255</b>	Linear	2 classes	638	8	-208,527	439,493	49,23	
		3 classes	638	9	-204,995	435,233	5,85	
		4 Classes	638	10	-204,846	437,740	20,50	
		1 Classe	638	7	-207,302	434,238	3,56	
<b>GMD 255</b>	Quadrática	2 classes	638	8	-206,443	435,326	6,13	

		<b>3 classes</b>	<b>638</b>	<b>9</b>	<b>-203,228</b>	<b>431,699</b>	<b>1,00</b>
		4 Classes	638	10	-203,129	434,306	3,68
<b>GP 255</b>	Linear	1 Classe	631	7	-	5030,530	3971,78
		2 classes	631	8	-	5029,550	2433,26
		3 classes	631	9	-	5021,264	38,63
		4 Classes	631	10	-	5022,158	60,40
		1 Classe	631	7	-	5022,752	81,29
<b>GP 255</b>	Quadrática	2 classes	631	8	-	5021,542	44,38
		<b>3 classes</b>	<b>631</b>	<b>9</b>	<b>-</b>	<b>5013,956</b>	<b>1,00</b>
		4 Classes	631	10	-	5015,038	1,71

O critério BIC adotado na escolha do melhor modelo beneficia aqueles mais parcimoniosos e penaliza os muito parametrizados (BREDA *et al.*, 2006), o que fundamenta o fato dos melhores modelos neste estudo serem modelos com 7 parâmetros e apenas uma classe de variância residual (TAB. 6). A probabilidade do modelo, calculada a partir do menor BIC, indica o quanto o modelo escolhido é mais provável que os demais modelos avaliados.

Na Tabela 7 estão apresentadas as estimativas de (co)variâncias, as correlações entre o intercepto e o coeficiente de regressão linear, e as variâncias residuais, avaliadas para o efeito genético aditivo direto (efeito animal) e para o efeito de família, para características de desempenho nas diferentes idades estudadas.

Observa-se em todas as características, tanto para o efeito genético aditivo quanto para o efeito de família, que a estimativa da variância atribuída à constante de regressão ( $b_0$ ) foi maior do que a da variância do coeficiente de regressão aleatória linear ( $b_1$ ) (TAB. 7). As correlações ( $r_{b_1b_0}$ ) entre o intercepto e o coeficiente de regressão aleatória para o efeito aditivo direto, bem como as covariâncias ( $b_0b_1$ ), apresentaram valores positivos apenas para ganho de peso diário e ganho de peso aos 255 dias (0,4944 e 0,9851, respectivamente), sendo as demais estimativas negativas. Já para o efeito de família ocorreu o contrário, onde a maioria das características exibiu estimativa positiva para correlação entre a constante e o coeficiente de regressão, exceto para ganho de peso diário e ganho de peso aos 220 dias que apresentaram correlações negativas (-0,1326 e -0,6828, respectivamente) e ganho de peso diário aos 185 dias no qual o valor estimado para correlação foi nulo (TAB.7).



Correlações positivas indicam que à medida que o valor de uma variável aumenta ( $b_0$ ) o valor da variável correlacionada ( $b_1$ ) aumenta simultaneamente, ou seja, quanto maior o valor do intercepto, maior será a inclinação na reta que descreve a sensibilidade dos valores genéticos dos indivíduos ao longo do gradiente ambiental (FELIPE; SILVA; WENCESLAU, 2012). Correlações muito próximas de zero ou nulas representam a ausência de correlação, isto é, qualquer alteração no valor do intercepto não afetará o coeficiente de regressão aleatória linear. Correlações negativas, por sua vez, indicam redução no valor do coeficiente de regressão ( $b_1$ ) à medida que o valor da constante ( $b_0$ ) aumenta, refletindo em uma mudança na ordem dos valores genéticos nos diferentes níveis nutricionais (SU; LUND, 2006).

Para a maioria das características o modelo que melhor se ajustou aos dados foi o que considerou homogeneidade de variância residual, isto é, uma classe (TAB. 7). Para alguns autores isto favorece a utilização de modelos de regressão aleatória, já que em avaliações genéticas com grande número de dados a heterogeneidade de variâncias residuais pode dificultar a utilização do modelo, por aumentar a quantidade de parâmetros a serem estimados (SARMENTO; TORRES; LÔBO, 2010).

Tabela 7 - Variâncias atribuídas à constante de regressão – intercepto ( $b_0$ ) e ao coeficiente de regressão linear ( $b_1$ ) do efeito genético aditivo direto, covariância ( $b_0b_1$ ) e correlação ( $r_{b_1b_0}$ ) entre o intercepto e o coeficiente linear, e variância residual ( $\sigma_c^2$ ), estimadas para características de desempenho de tilápias da linhagem GIFT aos 185, 220 e 255 dias de idade

Característica a	Idade (dias)	Trajetória	Efeito Genético Aditivo			
			$b_0$	$b_0b_1$	$b_1$	$r_{b_1b_0}$
Peso	185	Quadrática	1248,5300	-185,3880	28,3082	-0,9861
GPD			0,1081	-0,0209	0,0096	-0,6490
GP			237,1910	-8,4224	1,3440	-0,4717
Peso	220	Quadrática	2269,0600	-289,6540	39,6224	-0,9660
GPD			0,1324	-0,0205	0,0116	-0,5223
GP			265,0340	-28,8407	6,0128	-0,7225
Peso	255	Quadrática	2208,1500	-352,7590	57,5629	-0,9894
GPD			0,0444	0,0050	0,0023	0,4944
GP			177,6010	63,7216	23,5609	0,9851
Característica a	Idade (dias)	Trajetória	Efeito de Família			
			$b_0$	$b_0b_1$	$b_1$	$r_{b_1b_0}$
Peso	185	Quadrática	321,8650	22,8461	1,6574	0,9892
GPD			0,0003	0,0000	0,0001	0,0000
GP			5,7798	1,8288	0,6691	0,9299
Peso	220	Quadrática	330,4100	19,0890	1,2001	0,9586
GPD			0,0002	0,0000	0,0001	-0,1326
GP			1,1169	-0,3356	0,2163	-0,6828
Peso	255	Quadrática	642,3650	107,7870	18,1448	0,9984
GPD			0,0559	0,0108	0,0022	0,9762
GP			8,7137	1,1988	0,1976	0,9137
Característica a	Idade (dias)	Trajetória	Variância Residual			
			1 Classe	2 Classes	3 Classes	4 Classes
Peso	185	Quadrática	1234,7000	-	-	-
GPD			0,3531	-	-	-
GP			358,3790	-	-	-
Peso	220	Quadrática	2510,6900	-	-	-
GPD			0,4443	-	-	-
GP			523,0750	-	-	-
Peso	255	Quadrática	4253,1900	-	-	-
GPD			0,7450	0,8053	0,5499	-
GP			1253,3600	1272,1600	737,3200	-

As correlações genéticas entre os níveis de lisina digestível para as características de desempenho aos 185, 220 e 255 dias de idade constam nas figuras 4, 5 e 6, respectivamente. Para as três idades avaliadas apenas a característica GPD apresentou correlação abaixo de 0,8 entre os níveis de lisina mais distantes, indicando a presença de interação genótipo x ambiente e possível reordenamento dos indivíduos

ao longo do gradiente ambiental (ROBERTSON, 1959). As demais características, peso e GP, exibiram correlações positivas e elevadas, muito próximas à unidade, para todas as idades estudadas (FIGS. 4, 5 e 6). Kolstad *et al.* (2006) concluíram em seus estudos que a característica peso vivo possui baixa sensibilidade, ou seja, menos plasticidade às mudanças ambientais, o que explica a alta correlação genética da característica mesmo entre os níveis de lisina mais distantes. Diante disso, infere-se que características que possuem este comportamento são controladas pelo mesmo conjunto de genes em todos os ambientes em estudo, permitindo que a seleção seja realizada em qualquer um dos níveis de lisina avaliados (KHAW *et al.*, 2012; YOSHIDA *et al.*, 2013a).

Alguns autores recomendam programas de melhoramento distintos para os ambientes estudados quando forem obtidas estimativas de correlações genéticas menores que 0,7 e 0,8, para que se possa alcançar o máximo ganho genético na população em estudo (MULDER, *et al.*, 2006) o que é coerente com a afirmação de Robertson (1959) de que a interação GxA pode ser não importante do ponto de vista prático, quando essa correlação for maior que 0,8.

Figura 4 - Correlações genéticas para características de desempenho de tilápias da linhagem GIFT aos 185 dias de idade, para os diferentes níveis de lisina digestível

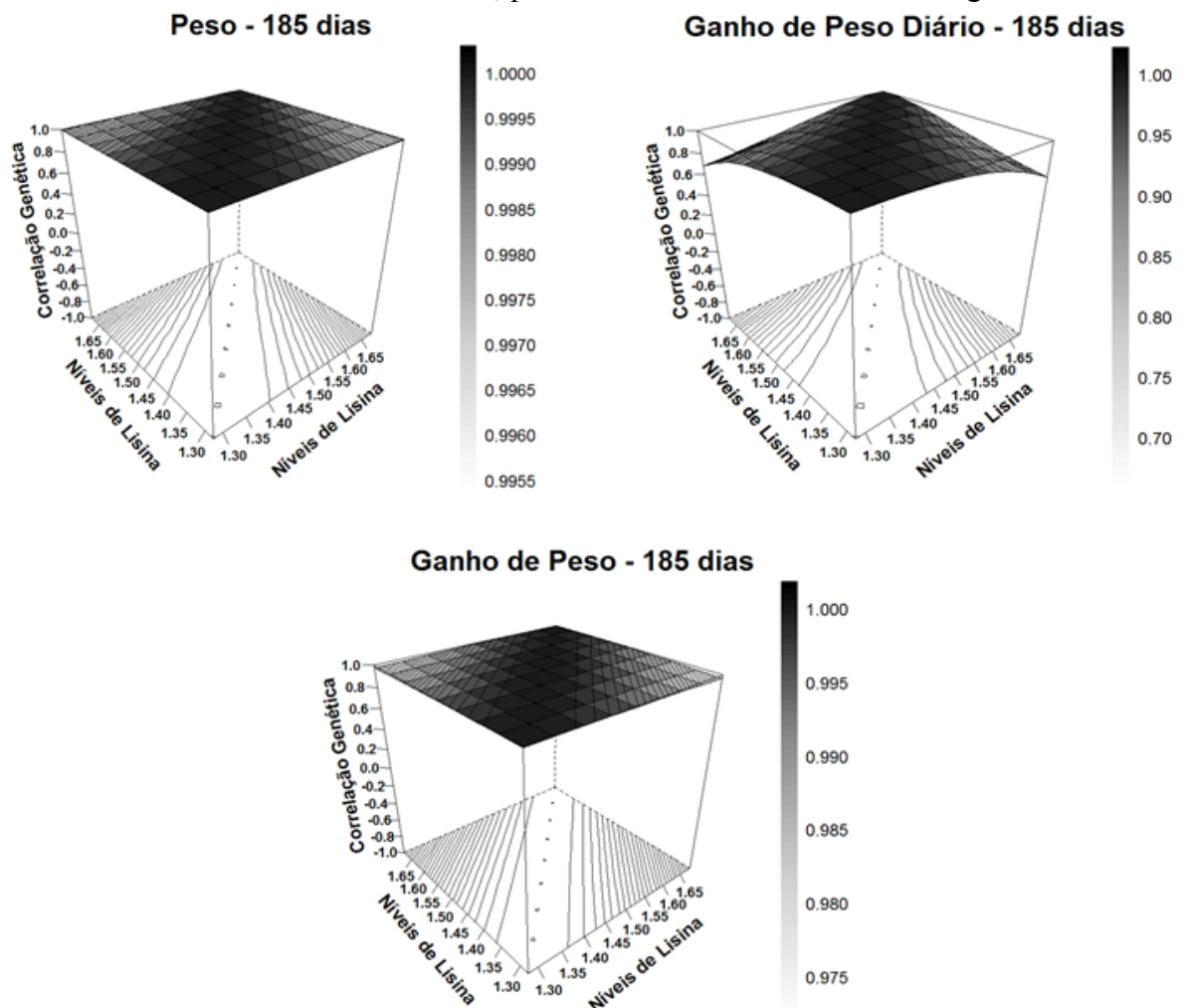




Figura 5 - Correlações genéticas para características de desempenho de tilápias da linhagem GIFT aos 220 dias de idade, para os diferentes níveis de lisina digestível

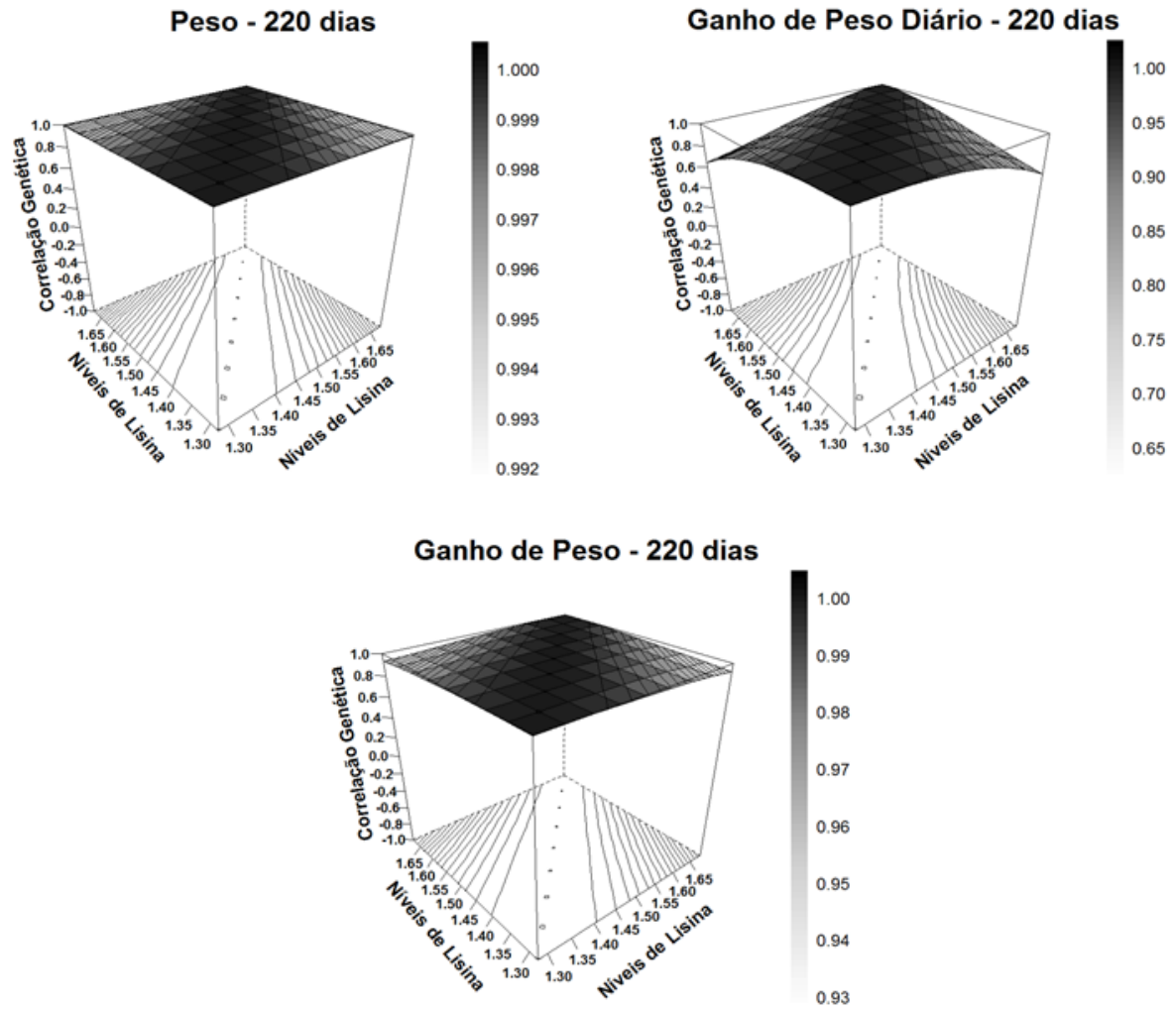
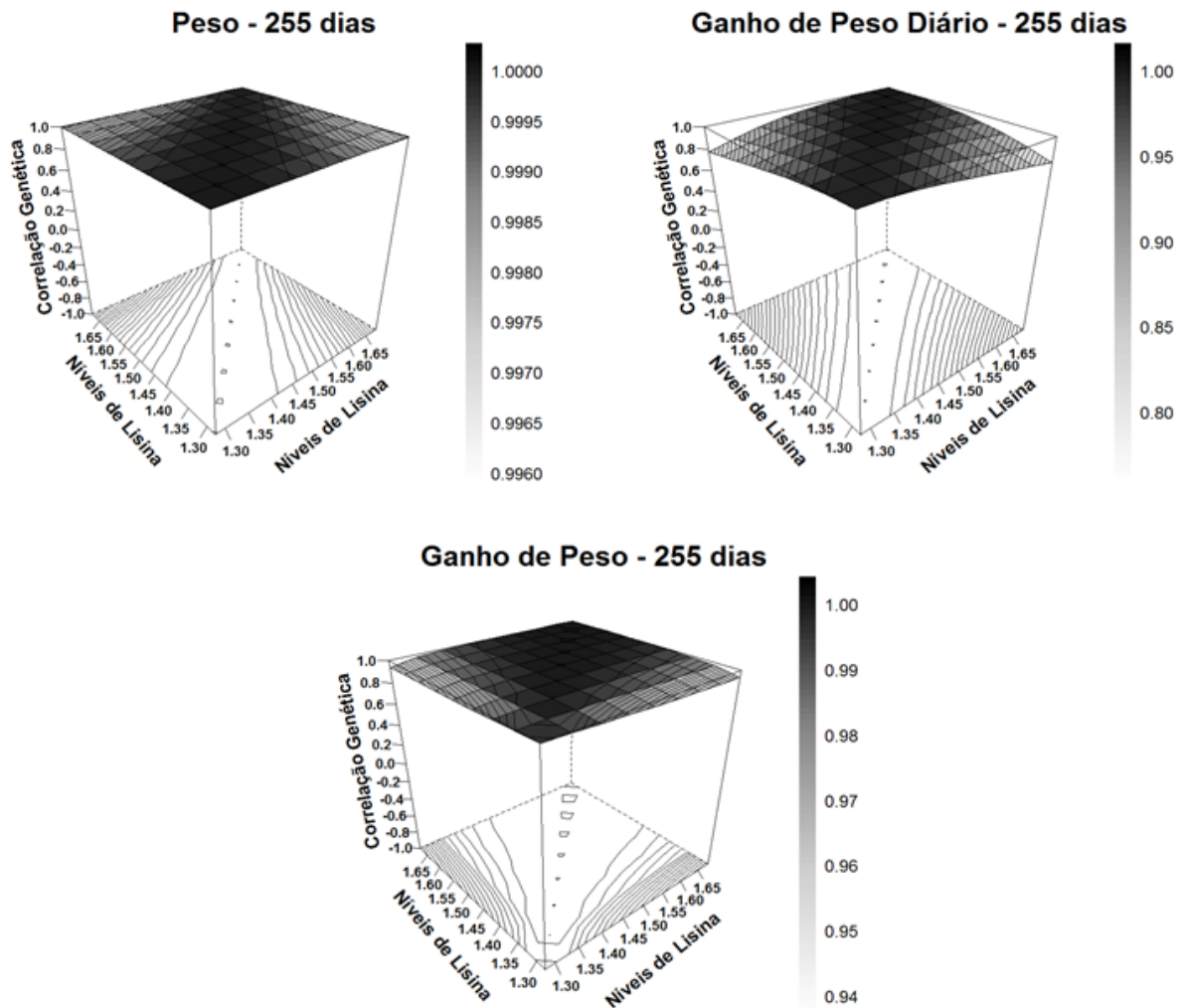


Figura 6 - Correlações genéticas para características de desempenho de tilápias da linhagem GIFT aos 255 dias de idade, para os diferentes níveis de lisina digestível



As figuras 7, 8 e 9 apresentam as estimativas de herdabilidade, variância do efeito genético aditivo direto (variância animal) e variância do efeito de família para peso vivo (Peso), ganho de peso diário (GPD) e ganho de peso (GP) em tilápias GIFT avaliadas aos 185, 220 e 255 dias de idade, respectivamente.

A curva que representa as estimativas de herdabilidade do Peso, GPD e GP das tilápias aos 185 dias de idade apresentou comportamento decrescente para todas as características, com o aumento do nível de lisina nas dietas. Os valores variaram de alto e médio a baixo ao longo do gradiente ambiental (FIG. 7).

O mesmo ocorreu com as características de desempenho das tilápias aos 220 dias de idade, onde as estimativas de herdabilidade foram mais altas no menor nível de lisina (1,28%) e mais baixas no nível de lisina mais elevado (1,68%) (FIG. 8). Na avaliação dos peixes aos 255 dias de idade as estimativas de herdabilidade para

peso decresceram ao longo do gradiente ambiental, variando de 0,29 (nível de 1,28%) a 0,11 (nível de 1,68%). GPD apresentou herdabilidades muito baixas em todos os níveis de lisina avaliados, variando de 0,022 (nível de 1,28%) a 0,054 (nível de 1,68%). Já a característica GP apresentou estimativas crescentes de herdabilidade com o aumento dos níveis de lisina, sendo observados valores de 0,011 no nível 1,28% e 0,24 no nível 1,68% (FIG. 9). Quanto maior for a estimativa de herdabilidade maior será o ganho genético por meio de seleção, pois, indica que grande parte da variação fenotípica da população estudada está relacionada aos efeitos genéticos aditivos (MOTA, *et al.*, 2015).

Valores semelhantes de herdabilidade para GPD foram encontrados por Yoshida *et al.* (2013b), ao avaliarem o desempenho de tilápias GIFT criadas em tanques-rede, em quatro idades distintas, próximas às deste trabalho. No entanto, as herdabilidades para peso vivo observadas no presente estudo foram maiores que as encontradas pelos mesmos autores em todas as idades avaliadas indicando maior ganho genético à seleção para esta característica.

As variâncias atribuídas ao efeito genético aditivo direto apresentaram estimativas decrescentes com o incremento de lisina digestível nas dietas, para Peso, GPD e GP dos peixes avaliados aos 185 dias (FIG. 7), 220 dias (FIG. 8) e apenas Peso aos 255 dias de idade (FIG. 6). GPD e GP aos 255 dias apresentaram estimativas de variância genética aditiva crescentes ao longo do gradiente nutricional estudado (FIG. 9).

No geral, o efeito de família apresentou baixa influência na população estudada, exceto para Peso no nível de 1,68% de lisina aos 185 dias (FIG. 7) e aos 255 dias (FIG. 9), onde as estimativas de variância do efeito de família foram próximas às estimativas de variância do efeito genético aditivo (202,99 e 345,63; 535,09 e 579,43). Apenas a característica GPD aos 255 dias apresentou maiores estimativas de variância de família do que estimativas de variância genética aditiva, nos quatro níveis de lisina mais elevados (1,38, 1,48, 1,58 e 1,68 %) (FIG. 9). Neste caso, pode-se dizer que a variação fenotípica da população para GPD aos 255 dias é, em sua maior parte, atribuída aos efeitos de família e de ambiente, e não ao efeito genético aditivo direto.

As respostas acima sugerem que a seleção para as características de desempenho de tilápias GIFT, tanto aos 185 dias como aos 220 dias de idade, se realizada no ambiente em que foi utilizado 1,28% de lisina digestível, promoveria maior expressão do potencial genético dos indivíduos, em razão das estimativas de

herdabilidade e variância genética aditiva serem maiores no ambiente com menor teor de lisina na dieta. Aos 255 dias de idade a seleção para GPD e GP seria mais favorável se aplicada no ambiente onde os peixes receberam a dieta com o maior nível de lisina (1,68%), ambiente no qual expressaram seu melhor potencial genético

Figura 7 – Estimativas de herdabilidade, variância genética aditiva e variância de família para as características de desempenho de tilápias GIFT aos 185 dias de idade, segundo os níveis de lisina digestível da dieta

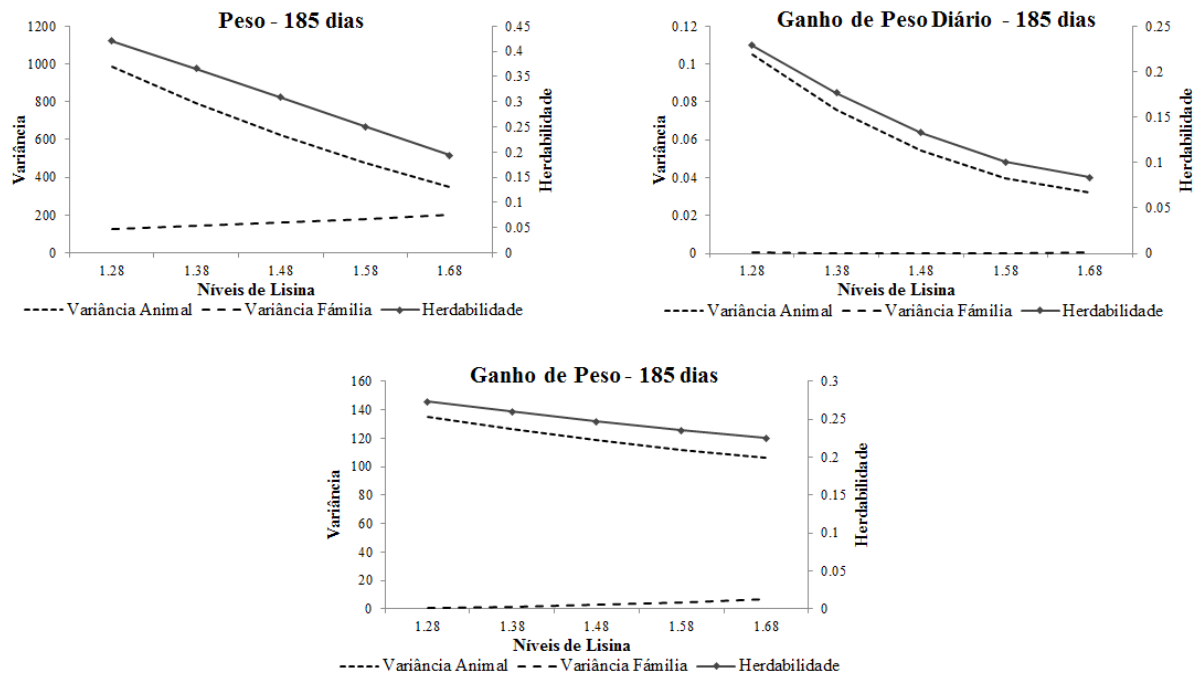


Figura 8 – Estimativas de herdabilidade, variância genética aditiva e variância de família para as características de desempenho de tilápias GIFT aos 220 dias de idade, segundo os níveis de lisina digestível da dieta



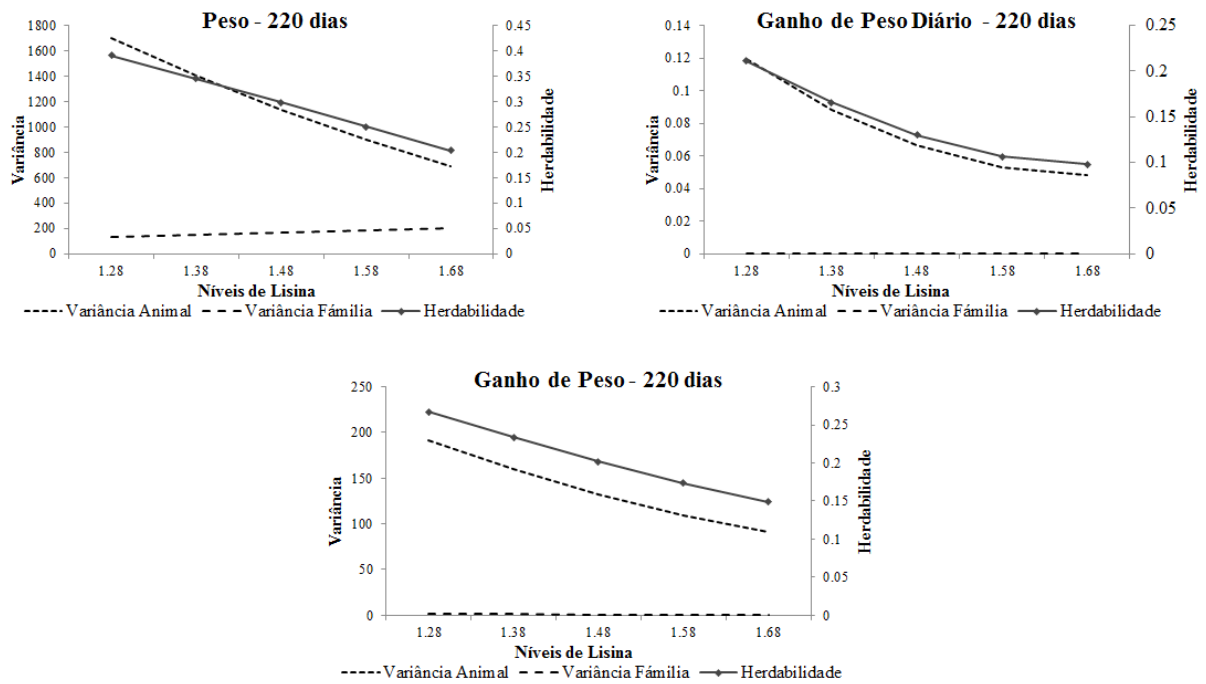
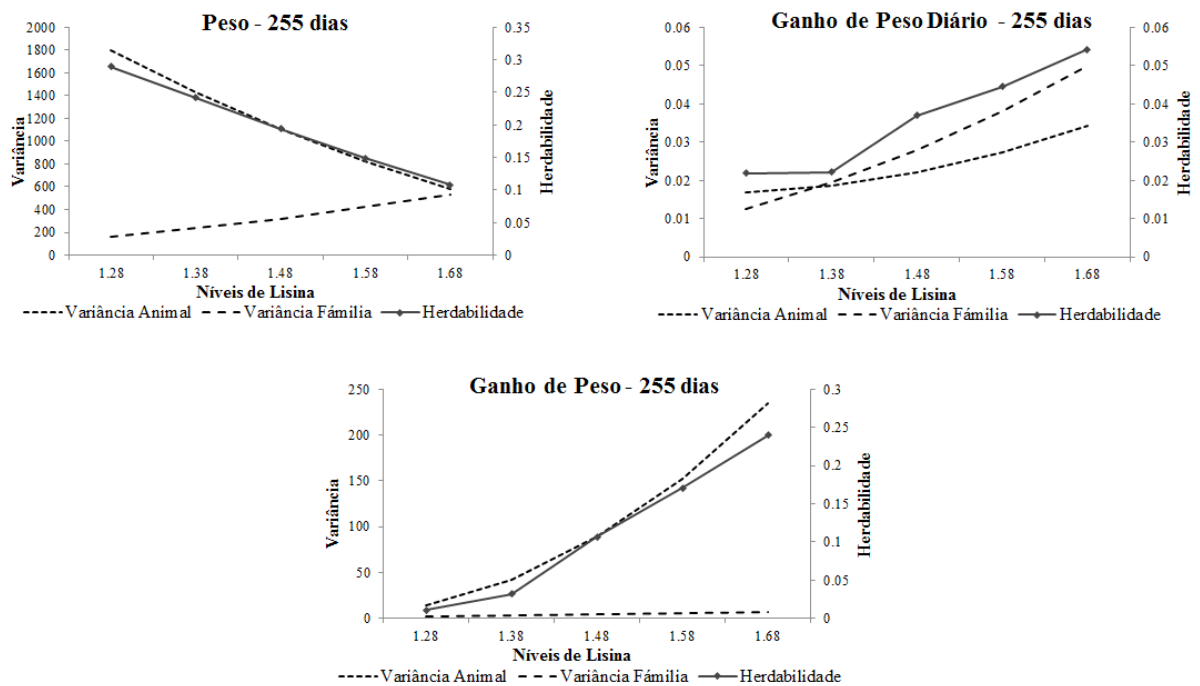


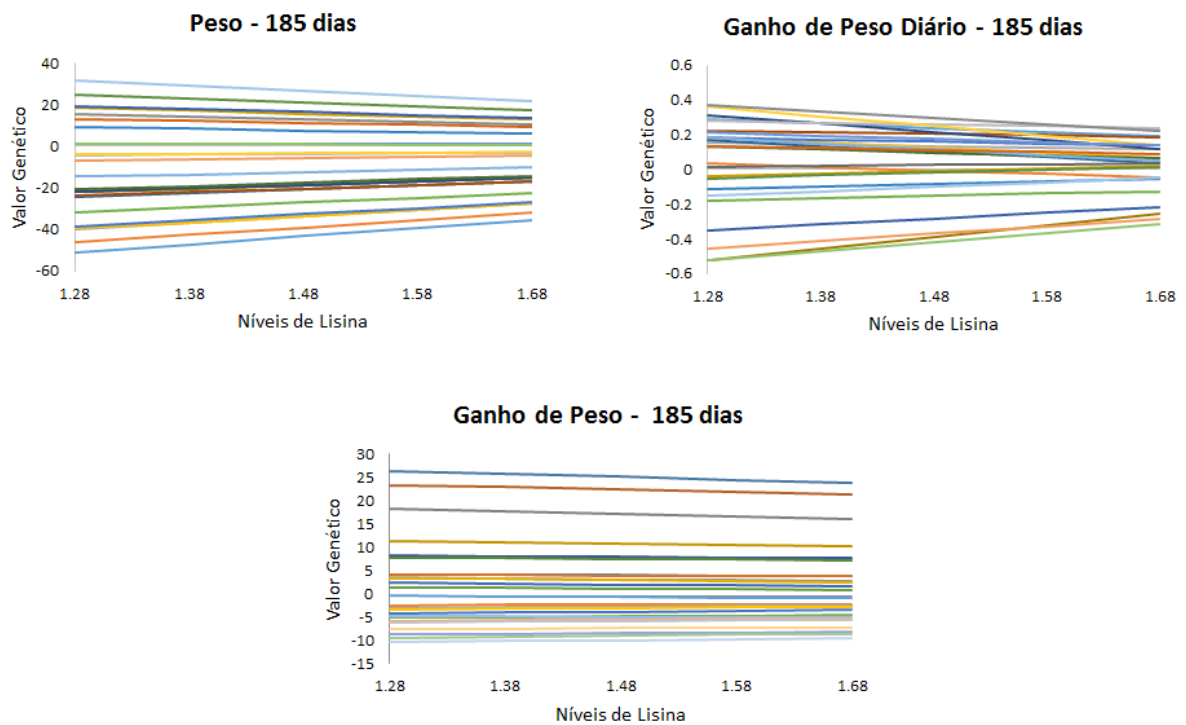
Figura 9 – Estimativas de herdabilidade, variância genética aditiva e variância de família para as características de desempenho de tilápias GIFT aos 255 dias de idade, segundo os níveis de lisina digestível da dieta



A avaliação das diferenças na sensibilidade dos valores genéticos para as características de desempenho de tilápias do Nilo linhagem GIFT aos 185, 220 e 255 dias de idade foi realizada utilizando normas de reação e está apresentada nas figuras 10, 11 e 12. A inclinação das retas indica alterações na sensibilidade dos valores genéticos em função do aumento dos níveis de lisina.

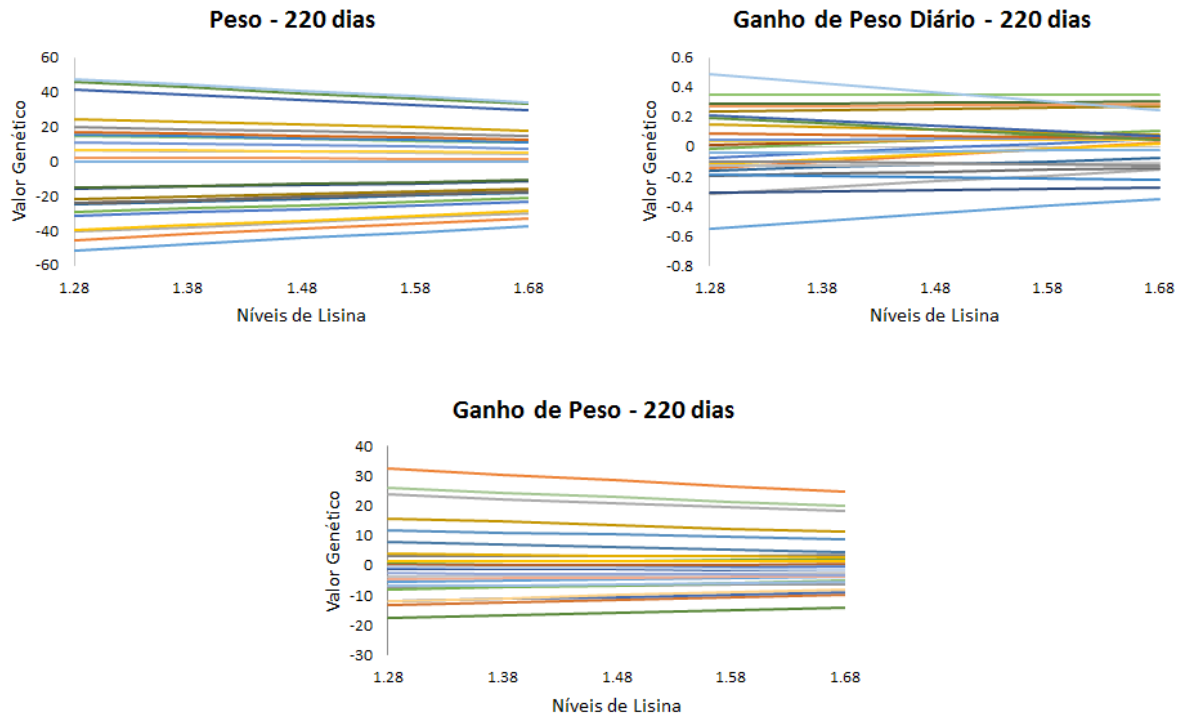
A característica peso aos 185 dias (FIG. 10) apresentou redução na dispersão dos valores genéticos e discreto ou nenhum reordenamento de indivíduos ao longo do gradiente ambiental. A sensibilidade dos valores genéticos para GP aos 185 dias praticamente não se alterou com o aumento dos níveis de lisina nas dietas. Já as normas de reação relativas ao GPD exibiram redução na dispersão dos valores genéticos e mudança no ordenamento dos indivíduos à medida que o teor de lisina aumentou (FIG. 10). Este comportamento confirma a presença de interação genótipo x ambiente, uma vez que a correlação genética estimada para a característica GPD aos 185 dias (0,70) (FIG. 4) é considerada significativa (ROBERTSON, 1959).

Figura 10 – Normas de reação dos valores genéticos aditivos de 25 tilápias GIFT, amostradas aleatoriamente, quanto às características de desempenho aos 185 dias de idade, alimentadas com dietas contendo diferentes níveis de lisina digestível



Ao avaliar a sensibilidade dos valores genéticos para desempenho de tilápias GIFT aos 220 dias de idade, observa-se redução na dispersão desses valores ao longo do gradiente nutricional, tanto para peso, como para GP (FIG. 11). Já a característica GPD, além de apresentar redução na dispersão dos valores genéticos ao longo dos níveis de lisina, indicou mudança de posicionamento desses valores genéticos (FIG. 11).

Figura 11 – Normas de reação dos valores genéticos aditivos de 25 tilápias GIFT, amostradas aleatoriamente, quanto às características de desempenho aos 220 dias de idade, alimentadas com dietas contendo diferentes níveis de lisina digestível



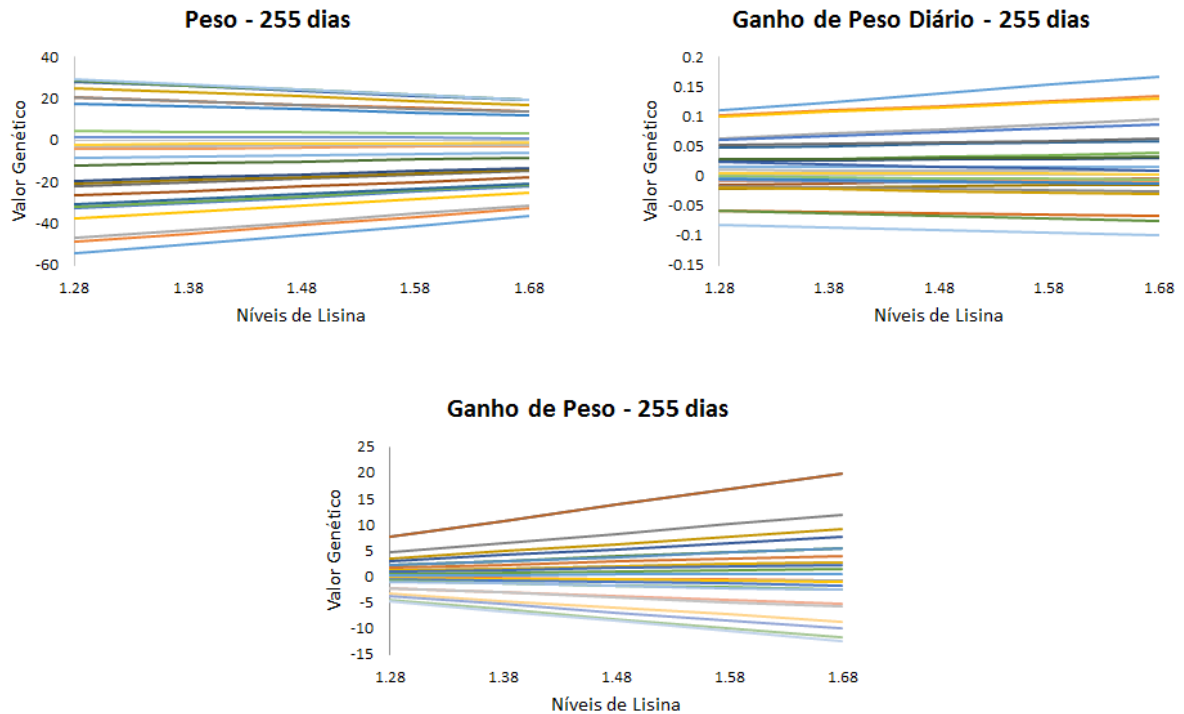
As normas de reação dos valores genéticos do peso, avaliadas aos 255 dias de idade (FIG. 12), demonstraram redução dos valores genéticos com o aumento dos níveis de lisina alterando assim a dispersão dos valores genéticos. Este comportamento condiz com a alta estimativa de correlação genética encontrada para esta característica (0,99) (FIG. 6), que implica em manutenção no posto (rank) dos valores genéticos dos indivíduos, porém sem quantificar a dispersão dos valores genéticos ao longo do gradiente ambiental.

A característica GPD aos 255 dias de idade apresentou reordenamento dos valores genéticos ao longo do gradiente ambiental, além de mudança na dispersão destes valores (FIG. 12), sugerindo a existência de interação GxA, assim como ilustrado pelo gráfico de correlação genética (FIG. 6) que apresentou estimativa próxima de 0,80 entre os níveis mínimo e máximo de lisina avaliados para GPD aos 255 dias.

A sensibilidade dos valores genéticos para GP aos 255 dias apresentou aumento na distribuição desses valores ao longo do gradiente ambiental (FIG. 12) e

aparentemente nenhuma alteração no posto (*rank*) dos indivíduos, ou seja, todos se mantiveram na mesma posição do primeiro ao quinto nível de lisina avaliado.

Figura 12 – Normas de reação dos valores genéticos aditivos de 25 tilápias GIFT, amostradas aleatoriamente, quanto às características de desempenho aos 255 dias de idade, alimentadas com dietas contendo diferentes níveis de lisina digestível



Foram apresentadas na tabela 8 as correlações de Spearman entre pares de níveis de lisina para 18, 12 e 6% de tilápias GIFT selecionadas como melhores e o percentual de associação entre elas, segundo a predição de seus valores genéticos, em três idades distintas.

Observa-se para as características peso e GP estimativas de correlações de Spearman próximas à unidade ( $> 0,98$ ) aos 185, 220 e 255 dias de idade, entre todos os pares de lisina combinados e em todos os percentuais de seleção (18, 12 e 6%). Conseqüentemente, a percentagem de associação dos melhores indivíduos também foi elevada para estas características ( $> 92\%$ ) em todos os pares de lisina e percentuais de seleção, para todas as idades avaliadas. Tais resultados permitem afirmar que se a seleção para peso ou GP for praticada tanto no nível mais baixo de lisina (1,28%), como nos níveis médio (1,48%) e alto (1,68%) serão selecionados praticamente os mesmos indivíduos.

As estimativas de correlação de Spearman para GPD oscilou bastante entre os ambientes avaliados aos 185 dias de idade das tilápias variando de 0,88 (1,28 x 1,48 em 18%) a 0,56 (1,28 x 1,68 em 6%). A percentagem de presença de indivíduos entre os pares de níveis avaliados em 18, 12 e 6% de seleção variou consideravelmente aos 220 dias de idade, apresentando valores de 87% (1,48 x 1,68 em 6%) a 62% (1,28 x 1,68 em 12%). Tais resultados indicam que a seleção para GPD de tilápias GIFT tanto aos 185 como aos 220 dias de idade, deve ser realizada no ambiente onde foram preditos os valores genéticos, uma vez que correlações de Spearman menores que 0,7 indicam que pode haver modificação na classificação dos valores genéticos dos indivíduos e assim comprometer a seleção, se realizada para ambientes distintos (CREWS JR.; FRANKE, 1998).

Tabela 8 – Correlações de Spearman entre os níveis baixo (1,28%), médio (1,48%) e alto (1,68%) de lisina digestível nas dietas e a percentagem de associação entre os animais para os 18, 12 e 6 % dos valores genéticos superiores das tilápias GIFT, aos 185 (1), 220 (2) e 255 (3) dias de idade para características de desempenho

Característica	Idade (dias)	1,28 x 1,48		1,28 x 1,68		1,48 x 1,68	
			Animais %		Animais %		Animais %
Peso 185	18%	0,99	99,2	0,99	99,2	0,99	100,0
	12%	0,99	100,0	0,99	100,0	0,99	100,0
	6%	0,99	100,0	0,99	100,0	0,99	100,0
GPD 185	18%	0,88	87,2	0,69	72,7	0,84	85,5
	12%	0,87	85,9	0,64	70,5	0,83	82,1
	6%	0,84	89,7	0,56	71,8	0,60	82,1
GP 185	18%	0,99	98,3	0,99	95,7	0,99	97,4
	12%	0,99	98,7	0,99	98,7	0,99	100,0
	6%	0,99	97,4	0,99	94,7	0,99	97,4
Peso 220	18%	0,99	99,1	0,99	99,1	0,99	100,0
	12%	0,99	98,7	0,99	98,7	0,99	100,0
	6%	0,99	100,0	0,99	100,0	0,99	100,0
GPD 220	18%	0,83	81,7	0,64	67,8	0,81	86,1
	12%	0,88	79,2	0,80	62,34	0,86	81,8
	6%	0,96	79,0	0,87	65,8	0,88	86,8
GP 220	18%	0,99	96,5	0,98	92,2	0,99	94,8
	12%	0,99	100,0	0,98	97,4	0,99	97,4
	6%	0,99	100,0	0,99	97,4	0,99	97,4
Peso 255	18%	0,99	100,0	0,99	100,0	0,99	100,0
	12%	0,99	100,0	0,99	100,0	0,99	100,0
	6%	0,99	100,0	0,99	100,0	0,99	100,0
GPD 255	18%	0,98	94,8	0,95	92,2	0,99	96,5
	12%	0,98	96,1	0,97	92,2	0,99	96,1

	<b>6%</b>	0,96	97,4	0,94	94,7	0,99	97,4
<b>GP 255</b>	<b>18%</b>	0,99	98,3	0,99	98,3	0,99	99,1
	<b>12%</b>	0,99	100,0	0,99	100,0	0,99	100,0
	<b>6%</b>	0,99	100,0	0,99	100,0	0,99	100,0

Aos 255 dias de idades das tilápias as correlações de Spearman para GPD foram maiores do que 0,94 e a percentagem de associação entre os indivíduos maior que 92% indicando que grande parte dos indivíduos com os melhores valores genéticos preditos estão presentes nos três níveis de lisina combinados em qualquer um dos percentuais de seleção estabelecidos,

De posse dos resultados é possível observar que para ganho em peso diário em tilápias GIFT aos 185 e 220 dias em função de níveis de lisina digestível, diferentes grupos de indivíduos são selecionados indicando que a característica pode ser influenciada por conjuntos de genes distintos e que a alteração no posto (*rank*) dos animais pode resultar na seleção de tilápias ineficientes para determinado nível de lisina, destacando a necessidade de diferentes programas de seleção se o critério utilizado for GPD medido em diferentes níveis de lisina.

## 4 CONCLUSÕES

Modelos de regressão aleatória que consideram homogeneidade de variância residual são mais adequados para avaliar a sensibilidade dos valores genéticos das características de desempenho de tilápias GIFT em fase de terminação alimentadas com dietas contendo diferentes níveis de lisina digestível,

As estimativas de herdabilidade, no geral, decresceram gradualmente com o aumento de lisina digestível nas dietas, bem como as estimativas de variância genética aditiva,

Houve presença de interação genótipo x nível de lisina digestível em todas as características nas três idades avaliadas, seja pela alteração na dispersão dos valores genéticos, seja pelo reordenamento dos mesmos,

A seleção baseada em GPD na fase de terminação deve ser praticada utilizando-se dietas com o mesmo percentual de lisina que as tilápias serão alimentadas no sistema de produção,

## REFERÊNCIAS

- BREDA, F, C, *et al*, Estimação de parâmetros genéticos para produção de leite de cabras da raça Alpina, **Revista Brasileira de Zootecnia**, v,35, n,2, p,396-404, 2006,
- BURNHAM K, P,; ANDERSON D, R, Multimodel inference: Understanding AIC and BIC in model selection, **Sociol, Methods Res**,, 33, 261–304, 2004,
- CREWS JR,, D, H,; FRANKE, D, E, Heterogeneity of variances for carcass traits by percentage brahman inheritance, **Journal Animal Science**, v,76, p,1803-1809, 1998,
- DIODATTI, F, C, Medidas morfométricas no peso e rendimento de componentes corporais de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), 2006, 66 p, **Dissertação** (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2006,
- FELIPE, V, P, S, *et al*, Utilização de modelos de norma de reação com variância residual heterogênea para estudo de valores genéticos de peso de codornas de corte em função de níveis de proteína bruta na dieta, **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v,64, n,4, p,991-1000, 2012,
- FURUYA, W, M, *et al*, Exigência de lisina pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), na terminação, **Ciência Rural**, v,34, n,5, p,1571-1577, 2004,



- FURUYA, W,M, *et al*, Aplicação do conceito de proteína ideal para redução dos níveis de proteína em dietas para tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*), **Revista Brasileira de Zootecnia**, v,34, n,5, p,1433-1441, 2005,
- GONÇALVES, G, S, *et al*, Relação lisina digestível:proteína digestível em rações para tilápias-do-nilo, **Revista Brasileira de Zootecnia**, v,38, n,12, p,2299-2305, 2009,
- KHAW, H, L, *et al*, Genotype by production environment interaction in the GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), **Aquaculture**, 326–329, p,53–60, 2012,
- KOLSTAD, K, *et al*, Genetic variation and genotype by location interaction in body weight, spinal deformity and sexual maturity in Atlantic cod (*Gadus morhua*) reared at different locations off Norway, **Aquaculture**, v,259, p,66–73, 2006,
- MEYER, K, Random regressions to model phenotypic variation in monthly weights of Australian beef cows, **Livestock Production Science**, v,65, n,2, p, 19-38, 2000,
- MEYER, K, “WOMBAT” – Digging deep for quantitative genetic analyses by restricted maximum likelihood, In: WORLD CONGRESS OF GENETICS APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION, 8, 2006, Belo Horizonte, **Proceedings...** Belo Horizonte, 2006, 1 CD-ROM,
- MOTA, L, F, M, *et al*, Genotype x dietary (methionine + cystine):Lysine ratio interaction for body weight of meat-type quails using reaction norm models, **Livestock Science**, v,182, p,137-144, 2015,
- NEATH A, A.; CAVANAUGH J, E, The Bayesian information criterion: background, derivation, and applications, Wiley Interdiscip, **Rev, Comput, Stat.**, 4, 199–203, 2012,
- NRC - National Research Council, **Nutrient Requirements of warmwater fishes and shellfishes**, Washington : National Academy, p,102, 1993,
- PARSON, C, M.; BAKER, D, H, The concept and use of ideal proteins in the feeding nonruminants, In: Simpósio Internacional de Produção de Não-ruminantes, 1994, Maringá, PR, **Anais,,** Maringá, SBZ, p,119-128, 1994,
- ROBERTSON, A, The sampling variance of genetic correlation coefficient, **Biometric**, v,15, n,3, p,469-485, 1959,
- RUTTEN, M,J,M.; KOMEN, H.; BOVENHUIS, H, Longitudinal genetic analysis of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) body weight using a random regression model, **Aquaculture**, v,246, p,101–113, 2005,
- SARMENTO, J, L, R, *et al*, Modelos de regressão aleatória na avaliação genética do crescimento de ovinos da raça Santa Inês, **Revista Brasileira de Zootecnia**, v,39, n,8, p,1723-1732, 2010,
- SAS STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, **User’s guide: Statistics**, Version 9,0, NC; SAS Institute, 2002,

SCHWARZ, G, Estimating the dimension of a models, **The Annals of Statistics**, v,6, n,2, p,461-464, 1978

SILVA, M, A, Interação genótipo x ambiente e estabilidade fenotípica de cana-de-açúcar em ciclo de cana de ano, **Bragantia**, v,67, n,1, p,109-117, 2008,

SU, G, *et al*, Bayesian analysis of the linear reaction norm model with unknown covariates, **Journal Animal, Science**, v,84, p,1651-1657, 2006,

VELOSO, R,C, *et al*, Modelos de norma de reação para estudo das características de qualidade da carne de codornas de corte em função das razões (metionina + cistina): lisina da dieta, **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v,67, n,5, p,1438-1448, 2015,

YOSHIDA G, M, *et al*, Resposta à seleção de características de desempenho e morfométricas de tilápia-do-nilo ao longo do período de cultivo, **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v,65, n,6, p,1815-1822, 2013a,

YOSHIDA G, M, *et al*, Associação entre características de desempenho de tilápia-do-nilo ao longo do período de cultivo, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v,48, n,8, p,816-824, 2013b,