

# O PAPEL DOS AMINOÁCIDOS NA NUTRIÇÃO E MEIO AMBIENTE

Wilson Massamitu Furuya

Prof. Titular, Departamento de Zootecnia, Universidade Estadual de Ponta Grossa,  
Av. Gal. Carlos Cavalcanti, 4748, Uvaranas, Bloco Z, 84030-900, Ponta Grossa,  
PR, Brasil. E-mail: wmfuruya@uepg.br

## RESUMO:

A produção de peixes aumentou globalmente usando dietas à base de plantas de acordo com a demanda por princípios econômicos e sustentáveis. Estudos recentes mostram que alguns aminoácidos (AAs) e seus metabólitos são importantes reguladores das principais vias metabólicas que são necessárias para manutenção, crescimento, saúde, reprodução, ingestão de alimentos, eficiência alimentar, rendimento de cortes comerciais e qualidade da carne em vários peixes. Recentemente, as definições clássicas de aminoácidos essenciais (AAE) e não essenciais (AANE) para peixes são desafiadas por descobertas de que diversos AAs como a arginina, glutamina e glutamato promovem crescimento e saúde de animais aquáticos, além de influenciar a eficiência alimentar, rendimento de filé, qualidade da carne e microbiota dos peixes, sendo classificados como funcionais (AAF). Os AAs possuem funções cruciais no metabolismo e fisiologia celular, e sua suplementação dietética aminoácidos por contribuir para aumentar o valor nutricional e nutritivo de dietas com baixa inclusão de farinha de peixe, otimizar a eficiência energética e proteica, suprimir comportamentos agressivos e canibalismo, aumentar o crescimento e a sobrevivência de larva e alevinos, mediar a eficiência reprodutiva. Além disso, melhoram o rendimento, sabor e a textura do filé, aumentam da imunidade e tolerância aos estresses ambientais e reduzem a excreção de nutrientes, particularmente nitrogênio (N). Assim, AAs, são a grande promessa para o desenvolvimento de rações balanceadas para aumentar a eficiência e lucratividade da produção global de aquicultura. A presente revisão tem por objetivo compilar dados atuais sobre o papel dos aminoácidos na nutrição e criação sustentável de peixes.

**Abreviaturas:** AAs, aminoácidos; AAE, aminoácidos essenciais; AAF, aminoácido funcional; AANE, Aminoácidos não essenciais; DDGS, destilados de grãos secos com solúveis; N, nitrogênio

## 1. INTRODUÇÃO

Aminoácidos (AAs) essenciais (AAE) são definidos como AAs cujos esqueletos de carbono não são sintetizados de novo por células animais ou AAs que são insuficientemente sintetizados de novo por células animais em relação às necessidades metabólicas (WU et al., 2013a). AAE são a arginina (Arg), fenilalanina (Phe), histidina (His), isoleucina (Ile), leucina (Leu), lisina (Lys), metionina (Met), treonina (Thr), triptofano (Trp) e valina (Val) para peixes (NRC, 2011). Em muitos peixes carnívoros, por exemplo, salmão do Atlântico (*Salmo salar*), truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*), não há síntese suficiente de *de novo* de taurina, sendo um AA condicionalmente essencial para essas espécies (SAMPATH et al., 2020).

Peixes com a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) não apresentem exigência de taurina na dieta em condições de adequada suplementação de metionina para manter o ganho de peso e eficiência alimentar (MICHELATO et al., 2018). No entanto, para manter o desempenho, é preciso suplementar taurina em dietas com elevadas proporções de alimentos de origem vegetal para alguns peixes carnívoros, como por exemplo a truta arco íris (GAYLORD et al., 2007).

A deficiência de AAE em peixes ocorrem quando sua dieta não fornece quantidades adequadas desses AAs (NRC, 2011). Quando um AAE é deficiente em uma dieta, a oxidação de outros AAs aumenta progressivamente com o aumento da ingestão dietética de AA ou proteína (HOU; WU, 2018). Isso ocorre porque a deficiência desse AAE limita a utilização de outros AAs para a síntese de proteínas e, portanto, todos os AAs excessivos são degradados de maneira específica do tecido (WU, 2013).

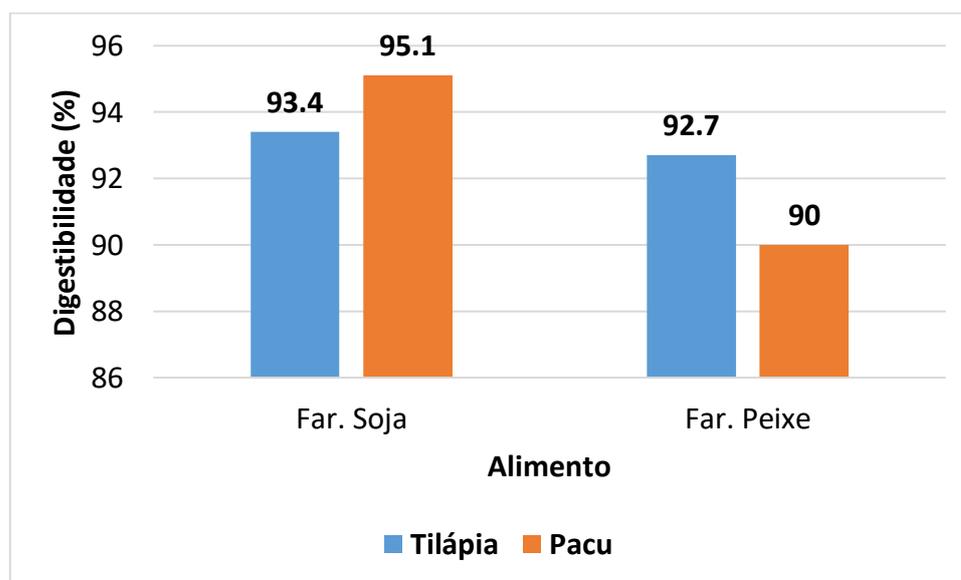
As síndromes de deficiência de AAE incluem baixo apetite, deficiências no armazenamento de nutrientes, retardo do crescimento e aumento do acúmulo de tecido adiposo (BICUDO; SADO; CYRINO, 2009; MICHELATO et al., 2016a; NGUYEN; DAVIS, 2016; JIANG et al., 2017; CRUZ et al., 2021). Finalmente, esses peixes apresentam perdas no rendimento de filé e qualidade da carne (MICHELATO et al., 2016c; RICHTER et al., 2020). A principal razão para os graves problemas em animais com deficiência de AAE é uma taxa reduzida de síntese de proteínas nas células e tecidos, particularmente no músculo esquelético (MICHELATO et al., 2016b).

Novas pesquisas levaram ao novo conceito de AA funcional (AAF), definido como aquele AA que participa e regula as principais vias metabólicas para melhorar a saúde, sobrevivência, crescimento, desenvolvimento, e reprodução dos animais (WU, 2013). Estudos nutricionais em peixes mostraram que a suplementação dietética com vários AAs, por exemplo, arginina, glutamina e glutamato, modula a expressão gênica, aumenta o crescimento do intestino delgado e do músculo esquelético ou reduz o excesso de gordura corporal (BUENTELLO; GATLIN, 2000; TNG et al., 2008; COSTAS et al., 2013; WANG et al., 2015; COUTINHO et al., 2016; PEREIRA; ROSA;

GATLIN III, 2017; PERNA et al., 2019; ZHAO et al., 2019; VARGHESE et al., 2020; ZHU; WANG, 2020). AA funcional é uma grande promessa na prevenção e tratamento de doenças metabólicas (WU et al., 2009; COSTAS et al., 2013; HOSEINI et al., 2019a) restrição de crescimento e disfunções intestinais (JIANG et al., 2009; WU, 2010; TIAN et al., 2020). A deficiência de AAs gera prejuízos econômicos e ambientais na aquicultura. Dessa forma, os AAs podem ser incluídos em dietas de peixes não apenas para aumentar seu valor, mas também para contribuir para o cenário global da prática da aquicultura seguindo indicadores de sustentabilidade.

## 2. COMPOSIÇÃO E VALOR NUTRITIVO DOS AMINOÁCIDOS DOS ALIMENTOS

Existe grande na composição de Aas dos alimentos tradicionalmente utilizados em dietas para organismos aquáticos (LI; WU, 2020). Além disso, existe grande variação na utilização dos aminoácidos entre os alimentos, sendo amplamente variável de acordo com a espécie de peixe (NRC, 2011), como demonstrado na Tabela 1.



**Tabela 1** Digestibilidade da lisina do farelo de soja e farinha de peixe para a tilápia (*Oreochromis niloticus*) e tambaqui (*Colossoma macropomum*). Adaptado (GUIMARÃES; PEZZATO; BARROS, 2008; NASCIMENTO et al., 2020a).

A farinha de vísceras, farinha de penas, farinha de carne e ossos, farinha de sangue e farinha de vísceras de aves são as principais fontes de proteína de origem animal utilizadas em dietas comerciais para tilápias. Entre as fontes proteicas de origem animal, destacam-se o farelo de soja, farelo de algodão, destilados de grãos secos com solúveis (DDGS) e o glúten de milho. Além disso, são utilizadas fontes energéticas de origem vegetal, com destaque para o milho, trigo e coprodutos, que também contribuem com a adição de aminoácidos na matriz nutricional das dietas para organismos aquáticos.

### 3. EXIGÊNCIAS DE AMINOÁCIDOS

As tabelas atuais fornecem valores para as exigências dietéticas de AAE para peixes. De forma geral, os primeiros aminoácidos limitantes são a metionina e lisina, respectivamente, mas a ordem de limitação dos aminoácidos depende da composição de alimentos, particularmente das fontes proteicas utilizadas.

As exigências recomendadas para AAE dietéticos ainda foram determinadas para todas as espécies e fases de criação dos peixes. A maioria dos estudos sobre exigências de aminoácidos foram realizadas com tilápias. Destacam-se as exigências de aminoácidos apresentadas com relação ao conteúdo de proteína dietética (NASCIMENTO et al., 2020b) base no conceito de proteína ideal, que considera a relação de cada aminoácido em relação à lisina. A exigência de lisina é apresentada como sendo aproximadamente 5,84% da proteína bruta, considerando valores médios estabelecidos para a tilápia do Nilo (MICHELATO et al., 2016b; NASCIMENTO et al., 2020b), como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Exigência dietética de aminoácidos essenciais para tilápias<sup>a</sup>.

Aminoácido (% dieta)	Proteína bruta da dieta (%)			
	46	42	36	32
Lisina <sup>b</sup>	2,63	2,45	2,10	1,87
Arginina	2,20	2,05	1,76	1,56
Fenilalanina	1,65	1,54	1,32	1,17
Histidina	0,89	0,83	0,71	0,62
Isoleucina	1,47	1,37	1,17	1,04
Leucina	2,17	2,02	1,74	1,54
Metionina	1,06	0,99	0,85	0,76
Treonina	2,71	2,53	2,17	1,93
Triptofano	0,39	0,37	0,31	0,28
Valina	1,56	1,45	1,25	1,11

<sup>a</sup> Valor determinado com base na exigência de cada aminoácido em relação ao conteúdo de proteína da dieta (NASCIMENTO et al., 2020b).

<sup>b</sup> Valor determinado com base na exigência de lisina em relação ao conteúdo de proteína da dieta (MICHELATO et al., 2016b; NASCIMENTO et al., 2020b).

Conhecer o nível adequado de aminoácidos nutrientes é importante para o sucesso na criação de peixes. Além disso, os AAE, provenientes da proteína, devem estar disponíveis em quantidades e proporções adequadas para atender as exigências (CRUZ et al., 2021). Determinar

as exigências de aminoácidos é importante para o desempenho e saúde dos peixes. Com a disponibilidade de aminoácidos industriais, há possibilidade de suplementação para atender as exigências quantitativas e evitar antagonismos entre aminoácidos. Nos últimos anos, além do ganho de peso e conversão alimentar, o rendimento de filé e a qualidade da carne têm sido considerados nas pesquisas realizadas para determinar as exigências de aminoácidos em peixes (MICHELATO et al., 2016b). Recentemente, foi demonstrado que a combinação de histidina e lisina como a lisina melhora o desempenho e qualidade da carne de tilápias (RICHTER et al., 2020), como demonstrado na Figura 2.

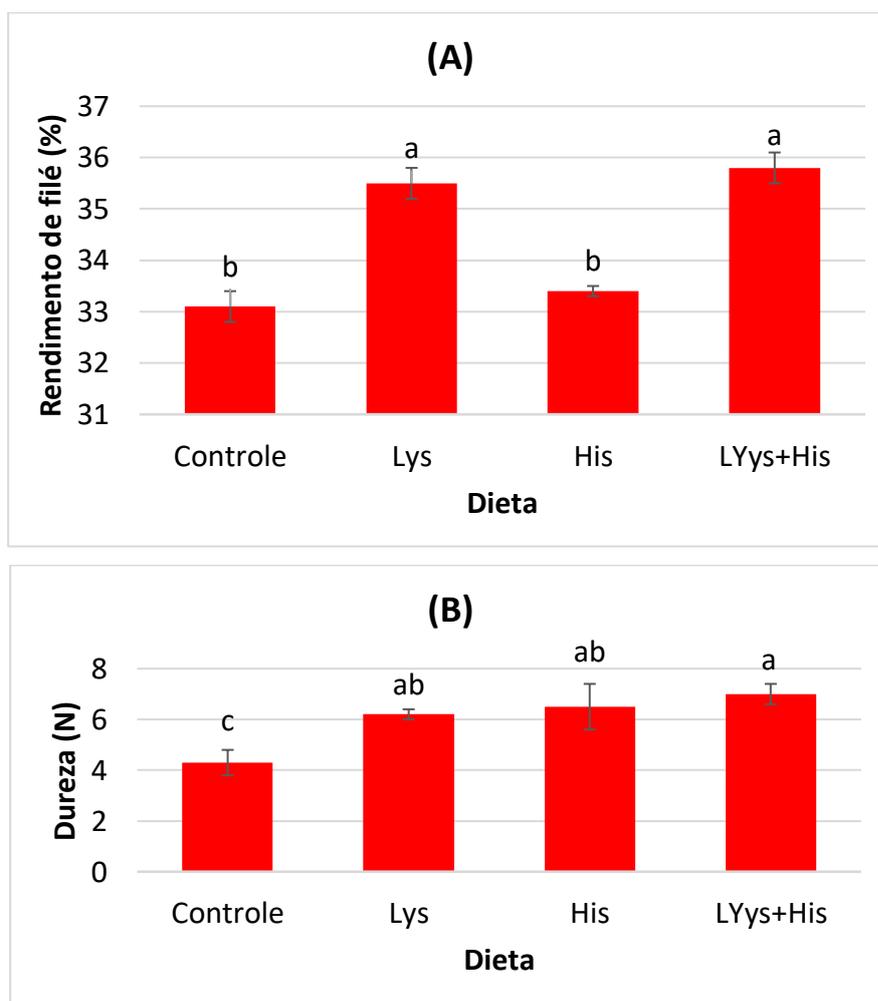


Figura 2 – Rendimento (A) e dureza do filé (B) de tilápias do Nilo alimentadas com dietas sem suplementação de lisina e histidina (Controle) ou suplementadas com lisina (Lys), histidina (His) e lisina e histidina (LYys+His), na terminação (RICHTER et al., 2020).

Barras com letras diferentes indicam diferenças pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

A expressão de genes vem sendo utilizada como ferramenta eficaz nos estudos envolvendo AAs em peixes. Destacam-se os estudos com a expressão de genes relacionados com o crescimento muscular, enzimas metabólicas e digestivas (PAULA et al., 2017). Esses genes podem explicar

como o crescimento muscular e a síntese proteica estão ocorrendo, quando uma dieta é fornecida para atender à exigência de uma espécie em estudo. Recentemente, a determinação da histidina e isoleucina de tilápias do Nilo foram realizadas por meio da avaliação de genes relacionados com a expressão de genes relacionados ao crescimento muscular e *mTOR* (MICHELATO et al., 2016a; ARAÚJO et al., 2021) e metabolismo dos AAs sulfurados (MICHELATO et al., 2018). Além disso, foi demonstrado que a suplementação de aminoácidos influencia a expressão dos genes da *mTORC1* e o crescimento e eficiência alimentar dos peixes (CRUZ et al., 2021). Da mesma forma, a genômica foi considerada em estudos envolvendo aminoácidos em pesquisas com diversas espécies de peixes (ALAMI-DURANTE et al., 2010; HABTE-TSION et al., 2015; DENG et al., 2016; LIANG et al., 2016). Ainda, estudos mais recente demonstram o efeito da origem e nível dos AAs da dieta sobre a composição da microbiota em peixes (YE et al., 2020a, 2020b; YANG et al., 2021).

#### **4. AMINOÁCIDOS FUNCIONAIS**

Com base no crescimento ou no balanço de nitrogênio dos animais, os AAs têm sido tradicionalmente classificados como nutricionalmente “essenciais” ou “não essenciais” (AANE) (WU, 2013; WU et al., 2013b). Os AAs cujos esqueletos de carbono não são sintetizados *de novo* por células animais devem ser fornecidos em dietas para sustentar a vida e, portanto, são nutricionalmente essenciais (HOU; YIN; WU, 2015). Em contraste, os AANE são aqueles AAs que são sintetizados *de novo* (WU, 2013). É crescente na literatura a descrição da conceito de AA funcional (AAF), que são definidos como aqueles AA que regulam as principais vias metabólicas para melhorar a saúde, sobrevivência, crescimento, desenvolvimento e reprodução dos animais (WU, 2010). A deficiência de um AAF (prejudica não apenas a síntese de proteínas, mas também a homeostase de todo o corpo, como demonstrado em tilápias do Nilo (PEREIRA; ROSA; GATLIN III, 2017). Notavelmente, a suplementação de um AAF específico como a glutamina, arginina ou ácido glutâmico a uma dieta convencional que tradicionalmente se pensava fornecer AA adequado pode maximizar o potencial de crescimento em peixes (MACÊDO et al., 2021), assim como a qualidade da carne (LARSSON et al., 2014; ZHAO et al., 2015). Além disso, melhora a resposta imune (LIN et al., 2015), morfologia intestinal e capacidade antioxidante (CHENG; GATLIN III; BUENTELLO, 2012; POHLENZ et al., 2012; LIN et al., 2015; CHEN et al., 2019) atividade e na excreção de N (HOSEINI et al., 2019b).

#### **5. AMINOÁCIDOS E MEIO AMBIENTE**

O influxo de nitrogênio (N) em ambientes lênticos e lóticos estimula diretamente o surgimento de algas, levando a mudanças prejudiciais nos ecossistemas aquáticos que

impossibilitam o uso da água para uso humano ou animal. De fato, o problema emergente é que os resíduos da aquicultura são lançados na água e, portanto, difíceis de coletar e remover. Dessa forma, a fitase pode ser incluída em rações aquáticas não apenas para aumentar a disponibilidade de AAs orgânico dos ingredientes da ração, mas também para incentivar o cenário futuro mundial de piscicultura líder seguindo indicadores de sustentabilidade. Assim, a suplementação de aminoácidos cristalinos são é uma ferramenta nutricional de grande valia para aumentar a retenção de N e reduzir sua excreção (CRUZ et al., 2021).

Recentemente, foi demonstrado que a suplementação de enzimas exógena como a fitase e mistura de xylanase e  $\beta$ -glucanase aumenta a disponibilidade de aminoácidos em dietas para tilápias do Nilo (BRITO et al., 2021; PONTES et al., 2021). Além disso, o adequado balanceamento de AAs influencia a retenção e subsequentemente a excreção de N pelos peixes. Por exemplo, a adequada suplementação de isoleucina é importante minimizar a excreção de N pelos peixes em tilápias do Nilo (ARAÚJO et al., 2021), como observado na Figura 3.

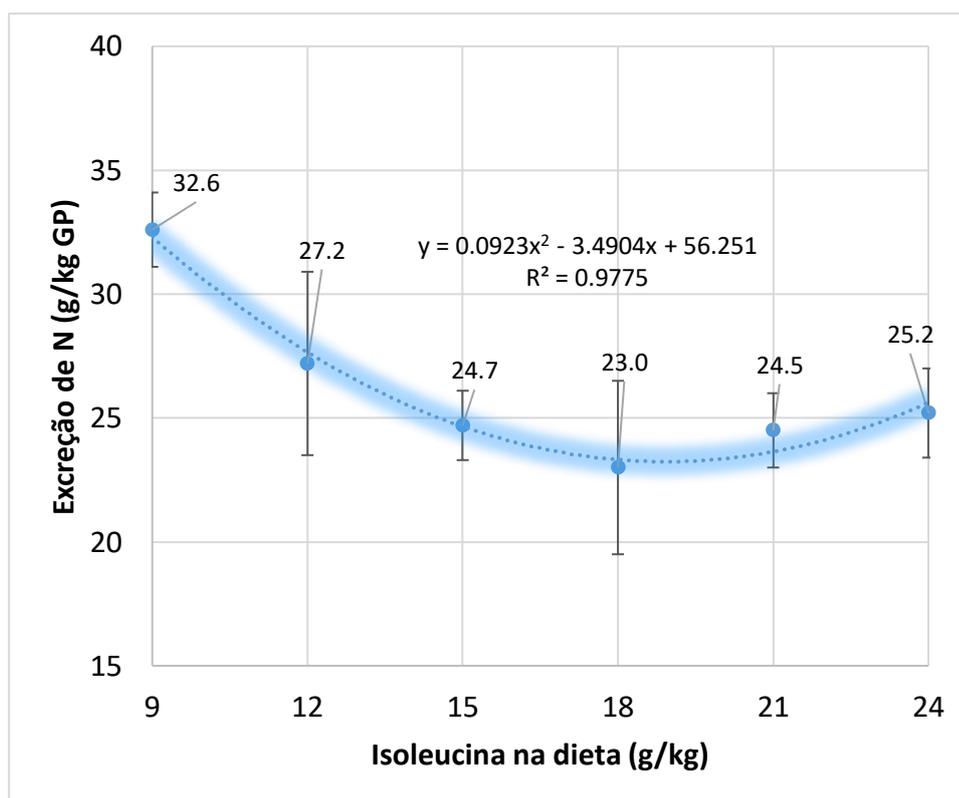


Figura 3 – Excreção de nitrogênio (N) em juvenis de tilápias do Nilo alimentadas com dietas com diferentes níveis de isoleucina na dieta (PONTES et al., 2021).

Assim, os aminoácidos cristalinos devem ser suplementados para otimizar o balanceamento de aminoácidos, particularmente em dietas com elevadas proporções de alimentos de origem

vegetal. Diversos pesquisadores demonstraram que a suplementação de aminoácidos industriais otimiza o crescimento, conversão alimentar e retenção de N em diversas espécies de peixes (NRC, 2011).

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os aminoácidos desempenham importante papel no crescimento, conversão alimentar, saúde, reprodução e qualidade da carne. Além disso, influenciam a retenção e subsequentemente a excreção de N em peixes.

Novas ferramentas nutricionais foram incluídas nos estudos envolvendo aminoácidos em peixes, contribuindo para um melhor entendimento do modo de ação dos aminoácidos. Destacam-se os estudos envolvendo a determinação da expressão de genes e o microbioma.

O nível e disponibilidade dos aminoácidos devem ser considerados para atender as exigências nutricionais. Em paralelo, aminoácidos funcionais podem ser suplementados com uma finalidade específica, considerando a espécie e fase de criação do peixe, ambiente de criação e dieta fornecida.

O influxo de nitrogênio em ambientes lênticos e lóticos estimula diretamente o surgimento de algas e a qualidade da água. As mudanças são aos ecossistemas aquáticos e podem impossibilitar o uso da água para humanos ou animais. Além disso, pode impactar de forma direta e indireta o desempenho e saúde dos peixes, assim como a qualidade da carne

## 7. REFERÊNCIAS

- ALAMI-DURANTE, H. et al. Skeletal muscle cellularity and expression of myogenic regulatory factors and myosin heavy chains in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Effects of changes in dietary plant protein sources and amino profiles. **Comparative Biochemistry and Physiology, Part A**, v. 156, n. 4, p. 561–568, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cbpa.2010.04.015>>.
- ARAÚJO, F. E. et al. Assessment of isoleucine requirement of fast-growing Nile tilapia fingerlings based on growth performance, amino acid retention, and expression of muscle growth-related and *mTOR* genes. **Aquaculture**, v. 539, n. 736645, 2021.
- BICUDO, Á. J. de A.; SADO, R. Y.; CYRINO, J. E. P. Dietary lysine requirement of juvenile pacu *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). **Aquaculture**, v. 40, n. 6, p. 818–823, 2009.
- BRITO, J. M. et al. Top-spraying xylanase and  $\beta$ -glucanase improves digestible energy content and optimizes protein and amino acids digestibility in high-fiber diet fed to growing Nile tilapia. **Animal Feed Science and Technology**, v. 278, p. 114991, 2021.
- BUENTELLO, J. A.; GATLIN, D. M. The dietary arginine requirement of channel catfish

(*Ictalurus punctatus*) is influenced by endogenous synthesis of arginine from glutamic acid.

**Aquaculture**, v. 188, n. 3–4, p. 311–321, 2000.

CHEN, J. et al. Growth performance, intestinal morphology, hepatopancreatic antioxidant capacity and growth-related gene mRNA expressions of juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) as affected by graded levels of dietary arginine. **Aquaculture Nutrition**, v. 25, n. 5, p. 1124–1134, 2019.

CHENG, Z.; GATLIN III, D.; BUENTELLO, A. Dietary supplementation of arginine and/or glutamine influences growth performance, immune responses and intestinal morphology of hybrid striped bass (*Morone chrysops* × *Morone saxatilis*). **Aquaculture**, v. 362–363, p. 39–43, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.07.015>>.

COSTAS, B. et al. Dietary arginine supplementation decreases plasma cortisol levels and modulates immune mechanisms in chronically stressed turbot (*Scophthalmus maximus*).

**Aquaculture Nutrition**, v. 19, p. 25–38, 2013.

COUTINHO, F. et al. Dietary arginine surplus does not improve intestinal nutrient absorption capacity, amino acid metabolism and oxidative status of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) juveniles. **Aquaculture**, v. 464, p. 480–488, 2016.

CRUZ, T. P. et al. Growth performance, amino acid retention and mRNA levels of *mTORC1* signaling pathway genes in Nile tilapia fingerlings fed protein-bound and crystalline amino acids. **Aquaculture**, v. 543, p. 736953, 2021.

DENG, Y. P. et al. Dietary leucine improves flesh quality and alters mRNA expressions of Nrf2-mediated antioxidant enzymes in the muscle of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). **Aquaculture**, v. 452, p. 380–387, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.11.007>>.

GAYLORD, T. G. et al. Supplementation of taurine and methionine to all-plant protein diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v. 269, p. 514–524, 2007.

GUIMARÃES, I. G.; PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M. Amino acid availability and protein digestibility of several protein sources for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture Nutrition**, v. 14, p. 396–404, 2008.

HABTE-TSION, H.-M. M. et al. A deficiency or an excess of dietary threonine level affects weight gain, enzyme activity, immune response and immune-related gene expression in juvenile blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*). **Fish and Shellfish Immunology**, v. 42, n. 2, p. 439–446, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fsi.2014.11.021>>.

HOSEINI, S. M. et al. Effects of dietary arginine supplementation on growth, biochemical, and immunological responses of common carp (*Cyprinus carpio* L.), stressed by stocking density. **Aquaculture**, v. 503, n. January, p. 452–459, 2019a.

HOSEINI, S. M. et al. Effects of dietary arginine supplementation on ureagenesis and amino acid

- metabolism in common carp (*Cyprinus carpio*) exposed to ambient ammonia. **Aquaculture**, v. 511, n. 15, p. 734209, 2019b. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734209>>.
- HOU, Y.; WU, G. Nutritionally essential amino acids. **Advances in Nutrition**, v. 9, p. 849–851, 2018.
- HOU, Y.; YIN, Y.; WU, G. Dietary essentiality of “nutritionally non-essential amino acids” for animals and humans. **Experimental Biology and Medicine**, v. 240, n. 8, p. 997–1007, 2015.
- JIANG, J. et al. Influence of glutamine and vitamin e on growth and antioxidant capacity of fish enterocytes. **Aquaculture Nutrition**, v. 15, n. 4, p. 409–414, 2009.
- JIANG, J. et al. Lysine and methionine supplementation ameliorates high inclusion of soybean meal inducing intestinal oxidative injury and digestive and antioxidant capacity decrease of yellow catfish. n. Hardy 2010, 2017.
- LARSSON, T. et al. Fillet quality and health of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed a diet supplemented with glutamate. **Aquaculture**, v. 426–427, p. 288–295, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.01.034>>.
- LI, P.; WU, G. Composition of amino acids and related nitrogenous nutrients in feedstuffs for animal diets. **Amino Acids**, v. 52, p. 523–542, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00726-020-02833-4>>.
- LIANG, H. et al. Dietary arginine affects growth performance, plasma amino acid contents and gene expressions of the TOR signaling pathway in juvenile blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala*. **Aquaculture**, v. 461, p. 1–8, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.04.009>>.
- LIN, H. et al. **Effect of dietary arginine levels on the growth performance, feed utilization, non-specific immune response and disease resistance of juvenile golden pompano *Trachinotus ovatus***. [s.l.] Elsevier B.V., 2015. v. 437
- MACÊDO, E. S. et al. Dietary glutamine-glutamate supplementation enhances growth performance and intestinal villi development in cage-farmed Nile tilapia fingerlings. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 50, p. e20200010, 2021.
- MICHELATO, M. et al. Dietary histidine requirement of Nile tilapia juveniles based on growth performance, expression of muscle-growth-related genes and Haematological responses. **Aquaculture**, v. 467, p. 63–70, 2016a.
- MICHELATO, M. et al. Dietary lysine requirement to enhance muscle development and fillet yield of finishing Nile tilapia. **Aquaculture**, v. 457, p. 124–130, 2016b.
- MICHELATO, M. et al. Dietary threonine requirement to optimize protein retention and fillet production of fast-growing Nile tilapia. **Aquaculture Nutrition**, v. 22, n. 4, p. 759–766, 1 ago. 2016c.
- MICHELATO, M. et al. Metabolic responses of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* to methionine

- and taurine supplementation. **Aquaculture**, v. 485, p. 66–72, 2 fev. 2018.
- NASCIMENTO, T. M. T. et al. Apparent digestibility coefficients for amino acids of feed ingredients in Tambaqui (*Colossoma macropomum*) diets. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 49, p. e20190032, 2020a.
- NASCIMENTO, T. M. T. do. et al. Determination of the optimum dietary essential amino acid profile for growing phase of Nile tilapia by deletion method. **Aquaculture**, v. 523, n. September 2019, p. 735204, 2020b. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735204>>.
- NGUYEN, L.; DAVIS, D. A. Comparison of crystalline lysine and intact lysine used as a supplement in practical diets of channel catfish (*Ictalurus punctatus* and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)). **Aquaculture**, v. 464, n. 1, p. 331–339, 2016.
- NRC. **Nutrient Requirements of Fish and Shrimp**. Washington: National Academy Press, 2011.
- PAULA, T. G. De et al. Food restriction increase the expression of mTORC1 complex genes in the skeletal muscle of juvenile pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **PLoS ONE**, v. 12, n. 5, p. 1–20, 2017.
- PEREIRA, R. T.; ROSA, P. V; GATLIN III, D. M. Glutamine and arginine in diets for Nile tilapia: Effects on growth, innate immune response, plasma amino acid profiles and whole-body composition. **Aquaculture**, v. 473, p. 135–144, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.01.033>>.
- PERNA, S. et al. The role of glutamine in the complex interaction between gut microbiota and health: A narrative review. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, p. 5232, 2019.
- POHLENZ, C. et al. Free dietary glutamine improves intestinal morphology and increases enterocyte migration rates, but has limited effects on plasma amino acid profile and growth performance of channel catfish *Ictalurus punctatus*. **Aquaculture**, v. 370–371, p. 32–39, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.10.002>>.
- PONTES, T. C. et al. Top-sprayed phytase enhances the digestibility of energy, protein, amino acids and minerals, and reduces phosphorus output in Nile tilapia fed all-vegetable diets. **Aquaculture Research**, v. 52, p. 6562–6570, 2021.
- RICHTER, B. L. et al. Combination of lysine and histidine improves growth performance , expression of muscle growth-related genes and fillet quality of grow-out Nile tilapia. **Aquaculture Nutrition**, v. 27, n. 2, p. 568–580, 2020.
- SAMPATH, W. W. H. A. et al. Roles of dietary taurine in fish nutrition. **Marine Life Science and Technology**, v. 2, p. 360–375, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s42995-020-00051-1>>.
- TIAN, J. et al. Dietary Ala-Gln ameliorated growth suppression and intestinal injury induced by soya saponin in zebrafish. **Aquaculture**, v. 529, n. 8, p. 735748, 2020. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735748>>.

TNG, Y. Y. M. et al. Postprandial nitrogen metabolism and excretion in juvenile marble goby, *Oxyeleotris marmorata* (Bleeker, 1852). **Aquaculture**, v. 284, n. 1–4, p. 260–267, 2008.

Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.07.039>>.

VARGHESE, T. et al. Dietary arginine modulates nonspecific immune responses in Indian Major Carp, *Cirrhinus mrigala* exposed to hypoxia. **Aquaculture**, v. 529, p. 735613, 2020.

Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735613>>.

WANG, B. et al. Effects of dietary arginine supplementation on growth performance, flesh quality, muscle antioxidant capacity and antioxidant-related signalling molecule expression in young grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). **Food Chemistry**, v. 167, p. 91–99, 2015.

WU, G. et al. Arginine metabolism and nutrition in growth, health and disease. **Amino Acids**, v. 37, n. 1, p. 153–168, 2009.

WU, G. Functional Amino Acids in Growth, Reproduction, and Health. **Advances in Nutrition**, v. 1, n. 4, p. 31–37, 2010. Disponível em:

<<http://advances.nutrition.org/content/1/1/31.full.pdf+html>>.

WU, G. et al. **Amino acids Nutrition in Animals: Protein Synthesis and Beyond**. Annual Rev ed. [s.l: s.n.]v. 2

WU, G. Functional amino acids in nutrition and health. **Amino Acids**, v. 45, p. 407–411, 2013.

WU, G. et al. Dietary requirements of “nutritionally non-essential amino acids” by animals and humans. **Amino Acids**, v. 44, n. 4, p. 1107–1113, 2013b.

YANG, C. et al. Effects of dietary protein level on the gut microbiome and nutrient metabolism in tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Animals**, v. 11, n. 4, p. 1024, 2021.

YE, G. et al. Dietary replacement of fish meal with peanut meal in juvenile hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *Epinephelus lanceolatus* ♂): Growth performance, immune response and intestinal microbiota. **Aquaculture Reports**, v. 17, p. 100327, 2020a. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100327>>.

YE, G. et al. Low-gossypol cottonseed protein concentrate used as a replacement of fish meal for juvenile hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *Epinephelus lanceolatus* ♂): Effects on growth performance, immune responses and intestinal microbiota. **Aquaculture**, v. 524, p. 735309, 2020b. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735309>>.

ZHAO, Y. et al. Effects of dietary glutamate supplementation on growth performance, digestive enzyme activities and antioxidant capacity in intestine of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). **Aquaculture Nutrition**, v. 21, p. 935–941, 2015.

ZHAO, Y. et al. Effects of dietary glutamate supplementation on flesh quality, antioxidant defense and gene expression related to lipid metabolism and myogenic regulation in Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian). **Aquaculture**, v. 502, p. 212–222, 2019. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.12.050>>.

ZHU, M.; WANG, X. Regulation of mTORC1 by Small GTPases in Response to Nutrients. **The Journal of Nutrition**, 2020.