

CAPÍTULO 4

METIONINA + CISTINA NA ALIMENTAÇÃO DE PEIXES: DESEMPENHO ZOOTÉCNICO, COMPOSIÇÃO CORPORAL E HEMATO-BIOQUÍMICA

Data de submissão: 08/10/2024

Data de aceite: 01/11/2024

Aline da Silva Rocha

Universidade Federal da Bahia (UFBA)
Salvador - BA
<https://lattes.cnpq.br/5893766149453264>

Rafael Silva Marchão

Universidade Federal do Vale do São
Francisco (UNIVASF)
Petrolina - PE
<http://lattes.cnpq.br/2846114784139547>

Gilmar Amaro Pereira

Universidade Federal do Vale do São
Francisco (UNIVASF)
Petrolina – PE
<http://lattes.cnpq.br/0224665947793484>

Guilherme Araújo Santana

Universidade Federal do Vale do São
Francisco (UNIVASF)
Petrolina - PE
<http://lattes.cnpq.br/3059368455354152>

Mateus Goncalves de Freitas

Universidade Federal do Vale do São
Francisco (UNIVASF)
Petrolina – PE
<http://lattes.cnpq.br/4263180928144040>

Vanessa Ferreira Batista

Universidade Federal da Bahia (UFBA)
Salvador – BA
<http://lattes.cnpq.br/9422418524242720>

Rafael Carvalho da Silva

Universidade Federal do Vale do São
Francisco (UNIVASF)
Petrolina – PE
<http://lattes.cnpq.br/7430442264837095>

David Ramos da Rocha

Universidade Federal do Vale do São
Francisco (UNIVASF)
Petrolina – PE
<http://lattes.cnpq.br/5911366166093310>

Carlos Eduardo Copatti

Universidade Federal da Bahia (UFBA)
Salvador – BA
<http://lattes.cnpq.br/2254441871778798>

José Fernando Bibiano Melo

Universidade Federal do Vale do São
Francisco (UNIVASF)
Petrolina – PE
<http://lattes.cnpq.br/3763200072246495>

RESUMO: A piscicultura brasileira tem se expandido cada vez mais em virtude da grande diversidade de espécies de peixes com considerável potencial para produção comercial. Na nutrição de peixes um dos fatores primordiais na criação é a proteína da dieta. Todavia, os peixes não apresentam

exigência especificamente em proteína bruta, mas sim de um balanço de aminoácidos essenciais e não essenciais. Nesse sentido, a metionina é um aminoácido essencial que deve ser fornecido na dieta de peixes pois atua na síntese de proteína corporal. A deficiência de metionina mais cistina na dieta pode causar redução no crescimento dos animais. A maior parte dos estudos sobre a suplementação de metionina mais cistina na dieta de peixes estão focados no crescimento e na deposição de nutrientes corporais, sendo escassas informações sobre o efeito da metionina mais cistina nos parâmetros hematobioquímicos. A exigência de metionina mais cistina na dieta de peixes para promover o máximo crescimento varia de 0,53 a 1,45%.

PALAVRAS-CHAVE: Aminoácido essencial, nutrição de peixe, exigência nutricional.

METHIONINE + CYSTINE IN FISH FEEDING: ZOOTECHNICAL PERFORMANCE, BODY COMPOSITION AND HEMATO-BIOCHEMICAL

ABSTRACT: Brazilian fish farming has expanded due to the diversity of fish species with considerable potential for commercial production. One of the primary factors in fish nutrition in raising fish is dietary protein. However, fish do not specifically require crude protein but rather a balance of essential and non-essential amino acids. In this sense, methionine is an essential amino acid that must be provided in the fish diet because it synthesizes body protein. A deficiency of methionine plus cystine in the diet can cause reduced growth in fish. Most studies on dietary methionine plus cystine supplementation in fish have focused on growth and body nutrient deposition, with little information available on the effect of methionine plus cystine on hematobiochemical parameters. The requirement of methionine plus cystine in fish diets to promote maximum growth ranges from 0.53 to 1.45%.

KEYWORDS: Essential amino acid, fish nutrition, nutritional requirement.

1 | INTRODUÇÃO

No panorama atual da aquicultura brasileira, a produção de peixes de cultivo cresceu 3,1% em relação ao ano de 2022, alcançando 887.029 toneladas em 2023, em virtude da grande diversidade de espécies de peixes com considerável potencial para criação comercial, onde a maior parte desse avanço deriva de peixes de cultivo em água doce (Peixe BR, 2024).

A nutrição é um dos fatores primordiais na criação de peixes, tendo a proteína como o nutriente que mais encarece a dieta, porém, indispensável na alimentação por promover o desenvolvimento eficiente dos animais, quando fornecida em quantidades adequadas. No entanto, quando ofertada em níveis fora do exigido, promove alterações no catabolismo dos aminoácidos e, por conseguinte, causa uma maior excreção de compostos nitrogenados ao ambiente aquático (NRC, 2011; Tang et al. 2009). Todavia, estudo mostra que os peixes não possuem exigência em proteína, e sim de balanço de aminoácidos essenciais e não essenciais (Aroucha et al., 2023).

A metionina é um aminoácido essencial que deve ser fornecido na dieta de peixes, atuando principalmente no crescimento animal, e parte da metionina é convertida em

cistina (Silva, et al., 2006; Michelato et al., 2016). A metionina tem como função principal participar da síntese proteica corporal e sua deficiência na dieta pode causar redução no crescimento dos peixes.

Desta forma, objetivou-se realizar uma revisão bibliográfica sobre a exigência de metionina mais cistina para peixes.

2 | AMINOÁCIDOS E PROTEÍNAS

Proteínas e aminoácidos são moléculas essenciais na estrutura e no metabolismo de todos animais, visto que eles não conseguem sintetizar todos os aminoácidos, o que faz necessário o seu fornecimento na dieta. Os aminoácidos são compostos estruturais das proteínas e são classificados em essenciais e não essenciais (Nelson e Cox, 2014), conforme apresentado na Tabela 1 e agem em diversos locais do organismo animal realizando funções distintas.

Abreviação	Aminoácidos não essenciais	Abreviação	Aminoácidos essenciais
Cys	Cistina	Lys	Lisina
Tyr	Tirosina	Met	Metionina
Gly	Glicina	Thr	Treonina
Ser	Serina	Trp	Triptofano
Ala	Alanina	Val	Valina
Asp	Aspartato	His	Histidina
Glu	Glutamino	Ile	Isoleucina
Pro	Prolina	Leu	Leucina
Asn	Asparagina	Arg	Arginina
Gln	Glutamato	Phe	Fenilalanina

Adaptado: NRC (2011)

Tabela 1. Aminoácidos essenciais e não essenciais e suas abreviações

Os aminoácidos essenciais não são sintetizados, ou são sintetizados em quantidades insuficientes pelo organismo dos peixes, portanto, devem ser disponibilizados em suas dietas. Em contrapartida, os aminoácidos não essenciais são sintetizados em quantidades suficientes pelo organismo dos peixes (Li et al., 2009).

Níveis baixos de aminoácidos nas dietas interrompem o desempenho animal, enquanto níveis elevados aumentam a quantidade de liberação de nitrogênio no meio aquático, causando danos aos peixes e a qualidade da água e, consequentemente, impacto negativo no retorno dos investimentos com a piscicultura. O fornecimento de aminoácidos

em níveis adequados ocasiona uma maior eficiência no aumento no ganho de peso, na preservação da saúde do peixe, numa melhor conversão alimentar, como também um melhor rendimento de composição da carne (Lieb et al., 2021).

3 | METIONINA + CISTINA

A metionina é um aminoácido essencial, que apresenta cadeias laterais polares não-carregadas e essenciais para o crescimento animal (Figura 1). Pode ser metabolizada em cistina, portanto, a determinação desses aminoácidos é estudada em conjunto, devido às dificuldades de se quantificar a conversão de metionina a cistina (Silva et al., 2006; Michelato et al., 2016).

Assim, em níveis ótimos, a cistina é sintetizada utilizando a metionina como precursor, de tal modo que esse aminoácido não essencial pode interferir na disponibilidade de metionina para deposição de proteína corporal e seu teor pode variar entre 50 a 70% da concentração de metionina (Golf e Gatlin 2004; Tang 2009).

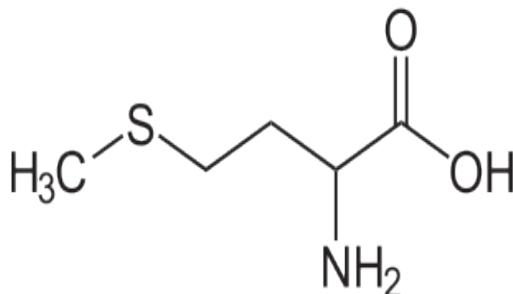


Figura 1. Fórmula estrutural da metionina

Além disso, a metionina participa da síntese de cisteína e glutatona através da via de transsulfuração, tornando-os tão essenciais quanto a metionina para a síntese de proteínas e do sistema antioxidante (Elango, 2020). Desta forma, a metionina além de funcionar como uma subestrutura de proteínas, atua também como uma molécula sinalizadora que regula a imunidade, o metabolismo energético e a reprodução (Wang et al., 2021).

Existem diferentes formas de utilização da metionina na alimentação de peixes estudadas ao longo dos anos (Nunes et al., 2014) e essas abordagens impactam diretamente na eficiência de uso e na biodisponibilidade para diferentes espécies de peixes. Por exemplo, em estudos com salmão do Atlântico (*Salmo salar L.*), foi observado que a D-metionina apresentou uma eficiência de utilização alimentar ainda superior a L-metionina (Powell et al., 2017). Outros estudos em peixes mostraram que a bioeficácia do MHA é menor do que a da DL-metionina (Zhao et al., 2022). A DL-metionina também foi mais eficiente em melhorar o desempenho do crescimento tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) do que o MHA em níveis equimolares de metionina in vitro e in vivo (Teodósio et al., 2021).

De maneira geral, a metionina cristalina mais comum aplicada na alimentação animal é a DL-metionina e contém uma mistura dos isômeros D e L da metionina (Goff e Dmiii, 2004). Já o ácido DL-2-hidroxi-4-metiltiobutanóico (HMTBa), MHA e DL-metionil-DL-metionina (Met-Met) são formas de metionina cristalina recentemente desenvolvidas, enquanto o D-isômero de DL-metionina e D- e os L-isômeros de HMTBa podem ser convertidos em L-metionina (Nunes et al., 2014; Niu et al., 2017; Wang et al., 2019).

4 | NECESSIDADE DE METIONINA + CISTINA NA NUTRIÇÃO DE PEIXES DE CULTIVO

A metionina é um aminoácido essencial que participa de diversas funções metabólicas, como o provimento de grupo metil via S-adenosil metionina (SAM) para síntese de moléculas envolvidas no crescimento, como por exemplo, creatina, carnitina, poliaminas, epinefrina, colina e melatonina (Piedras et al., 2004; Cavalheiro et al., 2014).

As exigências de metionina mais cistina estão na Tabela 2, onde os valores variam de 0,63 a 1,45%. Desta forma é essencial a suplementação de metionina na dieta de peixes, quando os níveis estiverem abaixo da exigência. A grande variação observada (Tabela 2) nos valores de exigência de metionina mais cistina para peixes são em função na diferença entre as espécies, peso corporal dos peixes, teor de proteína na dieta, composição das dietas experimentais e o modelo estatístico utilizado para interpretar os resultados (NRC, 2011, Rocha et al., 2023).

Diante desses resultados, a suplementação de metionina na alimentação de peixes, promove uma melhora no desempenho zootécnico e na deposição proteína corporal. Além disso, níveis adequados de metionina nas dietas podem promover redução das excreções nitrogenadas, reduzindo até o teor de proteína bruta da dieta (Brandão et al., 2009), quando todos os aminoácidos essências estiverem em níveis adequados na dieta. Todavia, dietas deficientes no aminoácido metionina, aumentam o processamento das proteínas, promovendo a deposição de tecido adiposo, redução no ganho de peso e na eficiência alimentar e favorece um aumento em ataques de fungos (Kelly et al., 2006; Tang et al., 2009).

Espécies	Peso (g)	Exigência dietética (%)	Referências
Tambaqui	0,28 a 0,94	1,15	Souza et al., 2019
Tambaqui	55 a 118	0,92	Aroucha et al., 2021
Tambaqui	89,52 a 150	0,86-0,93	Rocha et al., 2023
Bagre africano	78	0,63	Elesho et al., 2021
Salmão do Atlântico	493	0,90-0,99	Espe et al., 2008
Bagre do canal	14,00	0,94	Cai e Burtle, 1996
Bijupirá	9,79	1,24	Chi et al., 2020
Carpa capim	451,30	0,61	Wu et al., 2013
Garoupa jubarte	6,57	1,07	Irm et al., 2021
Garoupa híbrida	10,61	1,45	Li et al., 2020
Magro	50,0	0,75	Moura et al., 2018
Tilápia do Nilo	8,95	0,73-0,99	He et al., 2017
Bagre prateado	3,26	1,27-1,36	Rotili et al., 2018
Pompano dourado	12,40	1,06-1,27	Niu et al., 2013

Tabela 2. Exigência de metionina em diferentes espécies de peixes

5 | EFEITOS DA METIONINA + CISTINA NO DESEMPENHO ZOOTÉCNICO E DEPOSIÇÃO CORPORAL

Diversos estudos têm mostrado o efeito positivo da suplementação de metionina sobre o desempenho zootécnico em várias espécies de peixes, como melhor crescimento e eficiência alimentar, quando fornecida em níveis adequados nas dietas (Alami-Durante et al., 2018). Através do aumento dos níveis de metionina na dieta é possível observar um aumento seguido de uma estabilização no crescimento de dourada charr (*Salvelinus alpinus*) (Simmons, 1997), cauda amarela (*Seriola quinqueradiata*) (Ruchimat et al., 1997), dourada (*Sparus aurata*) (Marcouli et al., 2005), garoupa jubarte (Giri et al., 2006), tilápia do Nilo (Nguyen e Allen Davis, 2009), robalo (*Dicentrarchus labrax*) (Tulli et al., 2010), pompano dourado (*Trachinotus ovatus*) (Niu et al., 2013), carpa Gibel (*Carassius auratus gibelio*) (Wang et al., 2016a), e o bagre prateado (*Rhamdia quelen*) (Rotili et al., 2018).

Além disso, a inclusão de metionina em níveis ideais promove melhor taxa de conversão alimentar e, consequentemente, aumenta a eficiência de sua utilização das dietas para peixes (Rotili et al., 2018; He et al., 2019; Fang et al., 2021; Wang et al., 2021; Ji et al., 2022; Urbich et al., 2022). Por outro lado, tanto a deficiência quanto o excesso de metionina na alimentação, podem causar retardos no crescimento e desenvolvimento de peixes (Skiba-Cassy et al., 2016) e reduzir a ingestão alimentar (Marit et al., 2008; NRC,

2011). De fato, estudos com metionina abaixo do recomendado, mostraram menor taxa de crescimento e eficiência alimentar em truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) (Belghit et al., 2014) e cauda amarela (*Seriola dorsalis*) (Garcia-Organista et al., 2019), além de resultar em menor crescimento (Gao et al., 2019). A metionina é um dos fatores limitantes em dietas à base de farelo de soja para o crescimento do bagre do sul (*Silurus meridionalis*) e sua suplementação nesse tipo de dieta contendo alto teor de farelo de soja pode melhorar o desempenho de crescimento desse peixe (Ai e Xie, 2005).

A metionina aumenta a digestibilidade aparente dos nutrientes. De fato, a suplementação de metionina aumentou os coeficientes de digestibilidade aparente (CDAs) de matéria seca, proteína e energia bruta em dourada (*Acanthopagrus schlegelii*) (Zhou et al., 2011) e afetou quase todos os CDAs de aminoácidos em bagres africanos (Elesho et al., 2021). Promoveu melhora nos níveis de proteína bruta e lipídios brutos em todo o corpo e fígado (Alami-Durante et al., 2018).

6 | EFEITOS DA METIONINA+CISTINA NA HEMATO-BIOQUÍMICO

A metionina está envolvida em processos moleculares que ocorrem durante a resposta imune, como ubiquitinação e autofagia de proteínas (Afonso, 1998; Zinngrebe, 2014). Através da via da transulfuração, a metionina é convertida em cisteína, que se torna um dos três elementos da molécula glutationa (GSH), que por sua vez participa da eliminação de radicais livres, consequentemente reduzindo ROS (espécies reativas de oxigênio) e protegendo assim as células do estresse oxidativo durante a inflamação (Grimble, 2009).

Desta forma, é possível evidenciar a importância da suplementação de metionina, mostrando que sua exigência é aumentada durante as respostas imunes, beneficiando tanto a nível humorral como celular (Le Floc'h, 2004; Rubin, 2007). De fato, Grimble, (2009) afirma que o uso de aminoácidos essenciais como a metionina funciona como uma estratégia profilática eficiente e com custo aceitável para melhorar a imunidade e resposta dos peixes.

Parâmetros hematológicos são componentes importantes da saúde dos peixes e Machado et al., (2018) avaliando o robalo europeu (*Dicentrarchus labrax*) mostraram que o maior número de leucócitos observado nos peixes alimentados com a dieta suplementada com 1% de metionina, deveu-se exclusivamente a um maior número de neutrófilos, indicando a estimulação de uma resposta inflamatória pela suplementação de metionina. Em outro estudo, foi possível observar atividades altamente aprimoradas de hemácias e hemoglobina, representando uma saúde robusta em rohu (*Labeo rohita*) alimentados com dieta contendo suplementos dietéticos de metionina (Noor et al., 2021).

Na maioria das vezes, os metabolitos bioquímicos e plasmáticos dos peixes são mantidos em relativa homeostase e possui alta sensibilidade às mudanças ambientais,

permitindo que o estado fisiológico do peixe possa ser bem avaliado e previsto por mudanças nesses índices bioquímicos do sangue (Groff e Zinkl, 1992; Davis, 2004). A suplementação com metionina na dieta de sargo rombudo pré-adulto, (*Megalobrama amblycephala* Yih, 1955) não prejudicou nenhum dos índices, como o índice hepatossomático (IHS), índice viscerosomático (IVS), fator de condição (FC), albumina, proteína total, alanina aminotransferase (ALT) e aspartato aminotransaminase (AST) (Liang et al., 2016).

7 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metionina é um aminoácido essencial na dieta de peixes, proporcionando maior crescimento e deposição de proteína corporal. Como parte da metionina da dieta é convertida em cistina, é necessário a determinação da exigência destes aminoácidos em conjunto. Tal exigência (metionina mais cistina) varia de 0,53 a 1,45% na dieta de peixes. Nestas condições, contribuiu para promoção de crescimento e evita prejuízos ao desenvolvimento dos animais.

REFERÊNCIAS

- AFONSO, A.; LOUSADA, S.; SILVA, J.; ELLIS, A. E.; SILVA, M. T. Neutrophil and macrophage responses to inflammation in the peritoneal cavity of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. A light and electron microscopic cytochemical study. *Dis Aquat Org.* 34, 27-37, 1998.
- AI, QINGHUI.; XIE, XIAOJUN. Efeitos da substituição da farinha de peixe por farelo de soja e suplementação de metionina em dietas à base de farinha de peixe/farinha de soja no desempenho do crescimento do bagre do sul *silurus meridionalis*. *Journal of the World Aquaculture Society*, v. 36, n. 4, pág. 498-507, 2005.
- ALAMI-DURANTE, H.; BAZIN, D.; CLUZEAUD, M.; FONTAGN'E-DICHARRY, S.; KAUSHIK, S.; GEURDEN, I. Effect of dietary methionine level on muscle growth mechanisms in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 483, 273–285, 2018.
- AROUCHA, R. J. N.; RIBEIRO, F.B.; BOMFIM, M. A. D.; DE SIQUEIRA, J. C.; MARCHÃO, R. S.; DO NASCIMENTO, D. C. N. Exigência de metionina mais cistina digestível em dietas de tambaqui (*Colossoma macropomum*): Desempenho de crescimento e bioquímica plasmática. *Relatórios de Aquicultura*, v. 32, p. 101725, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101725>
- BELGHIT, I.; SKIBA-CASSY, S.; GEURDEN, I.; DIAS, K.; SURGET, A.; KAUSHIK, S.; PANSERAT, S.; SEILIEZ, I. Dietary methionine availability affects the main factors involved in muscle protein turnover in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *British Journal of Nutrition*. May;112(4):493-503,2014. <https://doi.org/10.1017/S0007114514001226>
- BRANDÃO, L. V.; PEREIRA-FILHO, M.; GUIMARÃES, S. F. E.; FONSECA, F. A. L. Suplementação de metionina e/ou lisina em rações para juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum* Cuvier, 1818). *Acta Amazonica*, 39(3), 675 – 680, 2009.
- CAI, Y.; BURTLE, G. J. Exigência de metionina para bagres do canal alimentados com dietas à base de farelo de soja e milho, *J. Anim. ciênci*, 74, pp. 514 – 521, 1996.

CAVALHEIRO, A. C. M.; CASTRO, M. L. S.; EINHARDT, M. D. S.; POUHEY, J. L. O. F.; PIEDRAS, S. N.; XAVIER, E. G. Microingredientes utilizados em alimentação de peixes em cativeiro – Revisão. *Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias*, 109, p. 11-20, 2014.

CHI, S.; HE, Y.; ZHU, Y.; TAN, B.; DONG, X.; YANG, Q.; LIU, H.; ZHANG, S. A metionina dietética afeta o crescimento e a expressão de genes-chave envolvidos na lipogênese hepática e no metabolismo da glicose em beijupirá (*Rachycentron canadum*), *Aquac. nutr.*, 26, pp. 123 – 133, 2020.

DAVIS, K. B. Temperature affects physiological stress responses to acute confinement in sunshine bass (*Morone chrysops* 9 *Morone saxatilis*). *Comp. Biochem. Physiol. A Mol. Integr. Physiol.* 139, 433–440, 2004.

DE MOURA, L. B.; DIÓGENES, A. F.; CAMPELO, D. A. V.; ALMEIDA, F. L. A. D.; POUSÃO-FERREIRA, P. M.; FURUYA, W. M.; OLIVA-TELES, A.; PERES, H. Suplementação com taurina e metionina como estratégia nutricional para promoção do crescimento de corvinas (*Argyrosomus regius*) alimentadas com dietas ricas em proteínas vegetais, *Aquicultura.*, 497, pp. 389-395, 2018.

ELANGO, R. Nutrição e metabolismo da metionina: percepções de estudos em animais para informar a nutrição humana. *The Journal of Nutrition*, v. 150, n. Suplemento_1, pág. 2518S-2523S, 2020.

ELESHO, F. E.; SUTTER, D. A. H.; SWINKELS, M. A. C.; VERRETH, J. A. J.; KRÖCKEL, S.; SCHRAMA, J. W. Quantificação da exigência de metionina em juvenis de bagres africanos (*Clarias gariepinus*), *Aquicultura.* 532, 2021.

ESPE, M.; HEVRØY, E. M.; LIASET, B.; LEMME, A.; EL-MOWAFI, A. A ingestão de metionina afeta o metabolismo do enxofre hepático no salmão do Atlântico, *Salmo salar*. *Aquaculture*, v. 274, n. 1, pág. 132-141, 2008.

FANG, C. C.; FENG, L.; JIANG, W. D.; WU, P.; LIU, Y.; KUANG, S. Y.; TANG, L.; LIU, X. A.; ZHOU, X. Q. Efeitos da metionina dietética no desempenho de crescimento, deposição de nutrientes musculares, crescimento de fibras musculares e síntese de colágeno tipo I de carpa capim em crescimento (*Ctenopharyngodon idella*). *Br. J. Nutr.*, 126, pp. 321-336, 2021.

GAO, Z.; WANG, X.; TAN, C.; ZHOU, H.; MAI, K.; HE, G. Efeito dos níveis de metionina na dieta sobre o desempenho do crescimento, metabolismo de aminoácidos e homeostase intestinal em pregado (*Scophthalmus maximus L.*), *Aquicultura.*, 498, pp. 335-342, 2019.

GARCIA-ORGANISTA, A. A.; MATA-SOTRES, J. A.; VIANA, M. T.; ROMBENSO, A. N. The effects of high dietary methionine and taurine are not equal in terms of growth and lipid metabolism of juvenile California Yellowtail (*Seriola dorsalis*). *Aquaculture*. Oct;512: 1-10, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734304>

GIRI, N. A.; SUWIRYA, K.; MARZUQI, M. Exigência de metionina na dieta para crescimento de juvenis de garoupa jubarte (*Cromileptes altivelis*). *indonésios. Aquacult. J.*, 1, pp. 79 – 86, 2006.

GOFF, J. B.; DMIII, G. Avaliação de diferentes compostos de aminoácidos sulfurados na dieta para red drum, *Sciaenops ocellatus*, e valor poupadour de cistina para metionina. *Aquicultura*, 241, pp. 465 – 477, 2004.

GOFF, J. B.; GATLIN III, D. M. Evaluation of different sulfur aminoacid compounds in the diet of red drum, *Sciaenops ocellatus*, and sparing value of cystine for methionine. *Aquaculture*, v.241, p.465-477, 2004.

GRIMBLE, R. F. Basics in clinical nutrition: immunonutrition e nutrients which influence immunity: effect and mechanism of action. e-SPEN. 4, 10-13, 2009.

GROFF, J. M.; ZINKL, J. G. Hematology and clinical chemistry of cyprinid fish. Common carp and goldfish. Vet. Clin. North Am. Exot. Anim. Pract. 2, 741–776, 1992.

HE, J. Y.; TIAN, L. X.; LEMME, A.; FIGUEIREDO-SILVA, C.; GAO, W.; YANG, H. J.; HAN, B.; ZENG, S. L.; LIU, Y. J. Efeito das concentrações dietéticas de metionina sobre o desempenho zootécnico de juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentados com dietas com dois diferentes níveis de energia digestível. Aquac. nutr., 23, pp. 76 – 89, 2017.

HE, Y.; CHI, S.; TAN, B.; DONG, X.; YANG, Q.; LIU, H.; ZHANG, S.; HAN, F.; LIU, D. A suplementação de DL-metionina em uma dieta com baixo teor de farinha de peixe afeta a via TOR/S6K estimulando o transportador de aminoácidos ASCT2 e o fator de crescimento semelhante à insulina-I no músculo dorsal de juvenis de beijupirá (*Rachycentron canadum*). Br. J. Nutr., 122, pp. 734-744, 2019.

IRM, M.; MU, W.; XIAOYI, W.; GENG, L.; WANG, X.; YE, B.; MA, L.; ZHOU, Z. Exigência ótima de metionina na dieta de garoupa jubarte (*Cromileptes altivelis*): efeitos no crescimento, micromorfologia, metabolismo proteico e lipídico. Amino Acids, 53, pp. 1065-1077, 2021.

JI, K.; LIANG, H.; GE, X.; REN, M.; PAN, L.; HUANG, D. A suplementação ótima de metionina melhorou o crescimento, a síntese hepática de proteínas e a lipólise de alevinos de carpa capim (*Ctenopharyngodon idella*). Aquicultura, 554, Artigo 738125, 2022.

KELLY, M. ET AL. Compreensão refinada da nutrição de sulfuraminoácidos em robalo híbrido, *Morone chrysops* x *M. saxatilis*. Aquaculture Research, v. 37, n. 15, pág. 1546-1555, 2006.

LE FLOC'H, N.; MELCHIOR, D.; OBLED, C. Modifications of protein and amino acid metabolism during inflammation and immune system activation. In: Livestock Production Science. 37–45, 2004.

LI X, ZHENG S, WU G (2021) Nutrition and functions of amino acids in fish. In: W, G (Ed) Amino acids in nutrition and health. Adv Exp Med Biol 1285:169–198. https://doi.org/10.1007/978-3-030-54462-1_8

LI, X.; MU, W.; WU, X.; DONG, Y.; ZHOU, Z.; WANG, X.; MA, L.; YE, B.; GENG, L. Exigência ótima de metionina em dietas de garoupa híbrida juvenil (*Epinephelus fuscoguttatus* ♂ x *Epinephelus lanceolatus* ♂): efeitos na sobrevivência, desempenho de crescimento, micromorfologia intestinal e imunidade. Aquicultura, 520, 2020.

LIANG, H. L.; REN, M. C.; HABTE-TSION, H. M.; MI, H. F.; GE, X. P.; XIE, J.; MIAO, L. H. Exigência dietética de metionina de sargo rombudo pré-adulto, (*Megalobrama amblycephala* Yih, 1955). Journal of Applied Ichthyology, 32 (6), 1171-1178, 2016.

LIEB, A. R. S. Aquicultura na Amazônia: Estudos Técnico-científicos e Difusão de Tecnologias. In: Bussons, Márcia Regina Fragoso Machado; Pinto, Elson Antônio Sadalla; Aride, Paulo Henrique Rocha; Oliveira, Adriano Teixeira. Exigência de aminoácidos nas dietas: uma necessidade para peixes amazônicos. Ponta Grossa-PR: Aride. p. 146-158, 2021.

MACHADO, M.; AZEREDO, R.; FONTINHA, F.; FERNÁNDEZ-BOO, S.; CONCEIÇÃO, L. E.; DIAS, J.; COSTAS, B. A metionina dietética melhora o estado imunológico do robalo europeu (*Dicentrarchus labrax*), a resposta inflamatória e a resistência a doenças. Frontiers in immunology, 9, 2672, 2018.

MARCOULI, P.; ALEXIS, M.; ANDRIOPOLOU, A.; ILIOPOULOU-GEORGUDAKI, J. Nutrição de aminoácidos de juvenis de dourada *Sparus aurata*: resultados preliminares sobre as necessidades dietéticas de lisina e metionina. *Cah. Opções Mediterr.* 63, pp. 67 – 71, 2005.

MARIT, E.; ERNSTM, H.; BJØRN, L.; ANDREAS, L.; ADEL, E. M. A ingestão de metionina afeta o metabolismo hepático do enxofre no salmão do Atlântico, *Salmo salar*, Aquicultura. 274, pp. 132 – 141, 2008.

MICHELATO, M.; VIDAL, L. V. O.; XAVIER, T. O.; GRACIANO, T. S.; DE MOURA, L. B.; FURUYA, V. R. B.; FURUYA, W. M. Dietary threonine requirement to optimize protein retention and fillet production of fast-growing N iletilapia. *Aquaculture Nutrition*, v. 22, n. 4, p. 759-766, 2016.

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

NGUYEN, T. N.; ALLEN DAVIS, D. Exigência de metionina em dietas práticas para juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, J. World Aquacult. Sociedade, 40, pp. 410 – 416, 2009.

NIU, J.; DU, Q.; LIN, H. Z.; CHENG, Y. Q.; HUANG, Z.; WANG, Y.; WANG, J.; CHEN, Y. F. Exigências quantitativas de metionina na dieta de juvenis de pompano dourado *Trachinotus ovatus* a um nível constante de cistina na dieta. *Aquac. nutr.*, 19, pp. 677 – 686, 2013.

NIU, J.; HE, J. Y.; FIGUEIREDO-SILVA, C.; LI, H. Y.; DONG, Y.; XIE, S. W.; LIU, Y. J.; YANG, H. J.; TIAN, L. X. Avaliação da biodisponibilidade do produto Novel Met-Met (AQUAVI®; Met-Met) em comparação com DL-metionina (DL-Met) em camarão branco (*Litopenaeus vannamei*). Aquicultura., 484, pp. 322-332, 2017.

NOOR, Z.; NOOR, M.; KHAN, S. A. Suplementos dietéticos de metionina melhoram desempenhos de crescimento, imunidade inata, enzimas digestivas e atividades antioxidantes de rohu (*Labeo rohita*). *Fish Physiol Biochem* 47, 451–464, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10695-021-00924-x>

NRC- Nutrient requirements of fish and shrimp. The National Academy Press, Washington, DC, 2011.

NUNES, A. J. P.; SÁ, M. V. C.; BROWDY, C. L.; VAZQUEZ-ANON, M. Suplementação prática de alimentos para camarões e peixes com aminoácidos cristalinos. Aquicultura., 431, pp. 20–27, 2014.

Peixe BR. Anuário brasileiro da piscicultura, 2023. Acesso em: 03/05/2023. <https://www.peixebr.com.br/anuario/>.

PIEDRAS, S. R. N.; POUEY, J. L. O. F.; RUTZ, F. Efeito da Suplementação de Metionina e/ou Lisina no Crescimento e na Sobrevivência de Alevinos de Peixerei (*Odontesthes bonariensis*). R. Bras. Zootec, 33(6), 1366-1371. 2004.

POWELL, C. D.; CHOWDHURY, M. A. K.; BUREAU, D. P. Avaliação da biodisponibilidade de L-metionina e um análogo hidroxi de metionina (MHA-Ca) em comparação com DL-metionina em truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquac. Res.* 48, pp. 332-346, 2017.

ROCHA, A. D. S., COPATTI, C. E., MARCHÃO, R. S., COSTA, T. S., SANTANA, G. S., COELHO, M. C., ... & Melo, J. F. B. (2023). Assessment of methionine plus cystine requirement of tambaqui (*Colossoma macropomum*) based on zootechnical performance, body composition, erythrogram, and plasmatic and hepatic metabolites. *Veterinary Research Communications*, v. 47, n. 4, p. 2111-2125, 2023.

ROTILI, D. A.; ROSSATO, S.; DE FREITAS, I. L.; MARTINELLI, S. G.; RADÜNZ NETO, J.; LAZZARI, R. Determinação da exigência de metionina de juvenis de bagre prateado (*Rhamdia quelen*) e seus efeitos sobre o desempenho de crescimento, plasma e metabólitos hepáticos a um nível constante de cistina. *Aquac. Res.*, 49, pp. 858-866, 2018.

RUBIN, L. L.; CANAL, C. W.; RIBEIRO, A. L. M.; KESSLER, A.; SILVA, I.; TREVIZAN, L. Effects of methionine and arginine dietary levels on the immunity of broiler chickens submitted to immunological stimuli. *Braz J Poult Sci.* 9, 241-7, 2007.

RUCHIMAT, T.; MASUMOTO, T.; HOSOKAWA, H.; SHIMENO, S. Exigência quantitativa de metionina em rabo-amarelo (*Seriola quinqueradiata*). *Aquicultura.*, 150, pp. 113 – 122, 1997.

SILVA, L. C. R.; FURUYA, W. M.; SANTOS, L. D. D.; SANTOS, V. G. D.; SILVA, T. S. D. C.; PINSETTA, P. J. Níveis de treonina em rações para tilápias-do-nilo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 35, n. 4, p. 1258-1264, 2006.

SIMMONS, A. L. A. Exigência dietética de metionina de Charr ártico juvenil, *Salvelinus alpinus*, Universidade de Guelph, 1997.

SKIBA-CASSY, S.; GEURDEN, I.; PANSERAT, S.; SEILIEZ, I. Desequilíbrio dietético de metionina altera a regulação transcripcional de genes envolvidos no metabolismo de glicose, lipídios e aminoácidos no fígado de truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquicultura.*, 454, pp. 56 – 65, 2016.

SOUZA, F. O.; BOMFIM, M. A. D.; RIBEIRO, F. B.; LANNA, E. A. T.; SOUSA, T. J. R. D.; COSTA, D. D. C. D. Methionine plus cystine to lysine ratio in diets for tambaqui juveniles. *Revista Caatinga*, 32(1), 243-250. 2019.

TANG, L.; WANG, G.X; JIANG, J.; FENG, L.; YANG, L.; LI, S. H.; ZHOU, X. Q. Efeito da metionina nas atividades das enzimas intestinais, microflora e imunidade humoral de juvenis da carpa Jian (*Cyprinus carpio* var. Jian). *Aquaculture Nutrition*, v. 15 (5), p. 477- 483, 2009.

TEODÓSIO, R.; ENGROLA, S.; CABANO, M.; COLEN, R.; MASAGOUNDER, K.; ARAGÃO, C. Respostas metabólicas e nutricionais de juvenis de tilápia do Nilo a fontes dietéticas de metionina. *Br. J. Nutr.*, 127, pp. 1-12, 2021.

TULLI, F.; MESSINA, M.; CALLIGARIS, M.; TIBALDI, E. Resposta do robalo europeu (*Dicentrarchus labrax*) a níveis graduais de metionina (aminoácidos sulfurosos totais) em dietas semi-purificadas à base de proteína de soja, *Br. J. Nutr.*, v. 104, pp. 664 – 673, 2010.

URBICH, A. V.; FURUYA, W. M.; MICHELATO, M.; PANACZEVICZ, P. A. P.; DA CRUZ, T. P.; FURUYA, L. B.; MARINHO, M. T.; GONÇALVES, G. S.; FURUYA, V. R. B. Efeitos sinérgicos da metionina e da taurina na dieta sobre o desempenho do crescimento, parâmetros sanguíneos, expressão de genes do metabolismo hepático do enxofre e qualidade da carne de grandes tilápias do Nilo, *Anim. Feed Sci. Tecnol.*, 288, 2022.

WANG, L.; YE, L.; HUA, Y.; ZHANG, G.; LI, Y.; ZHANG, J.; HE, J.; LIU, M.; SHAO, Q. Efeitos da dieta DL -metionil- DL -metionina (Met-Met) sobre o desempenho de crescimento, composição corporal e parâmetros hematológicos de camarão branco (*Litopenaeus vannamei*) alimentados com dietas à base de proteína vegetal. *Aquac. Res.*, 50, pp. 1718 – 1730, 2019.

WANG, W.; YANG, P.; HE, C.; CHI, S.; LI, S.; MAI, K.; SONG, F. Efeitos da metionina dietética no desempenho do crescimento e metabolismo através da modulação de vias relacionadas com nutrientes em achigã (*Micropterus salmoides*) *Aquacult. Rep.*, 20. 2021.

WANG, X.; XUE, M.; FIGUEIREDO-SILVA, C.; WANG, J.; ZHENG, Y.; WU, X.; HAN, F.; MAI, K. Exigência dietética de metionina da carpa gibelot pré-adulta (*Carassius auratus gibelio*) a um nível constante de cistina na dieta. *Aquac. nutr.*, 22, pp. 509 – 516, 2016.

WU, G. Amino acids: Biochemistry and nutrition. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 2013.

ZHAO, Y.; YANG, C.; ZHU, X. X.; FENG, L.; LIU, Y.; JIANG, W. D.; WU, P.; HUANG, X. L.; CHEN, D. F.; YANG, S. Y.; LUO, W.; ZHANG, J. X.; LI, S. W.; DIAO, H.; WEI, X. L.; ZHOU, M. J.; ZHOU, X. Q.; JIANG, J. Benefícios da suplementação dietética de análogos de hidroxi de metionina no crescimento, estado antioxidante intestinal e microbiota em achião juvenil *Micropterus salmoides*. *Aquicultura.*, 556, 2022.

ZHOU, F.; XIAO, J. X.; HUA, Y.; NGANDZALI, B. O.; SHAO, Q. J. Exigência dietética de l-metionina para juvenis de dourada (*Sparus macrocephalus*) a um nível constante de cistina na dieta. *Aquac. nutr.*, 17, pp. 469 – 481, 2011.

ZINNGREBE, J.; MONTINARO, A.; PELTZER, N.; WALCZAK, H. Ubiquitin in the immune system. *EMBO, Rep.* 15, 28–45, 2014.