

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 26/05/2025.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

**Efeito do enriquecimento ambiental no bem-
estar e parâmetros zootécnicos de tilápias
(*Oreochromis niloticus*) cultivadas em
diferentes densidades**

João Favero Neto

Jaboticabal, São Paulo

2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

**Efeito do enriquecimento ambiental no bem-
estar e parâmetros zootécnicos de tilápias
(*Oreochromis niloticus*) cultivadas em
diferentes densidades**

João Favero Neto

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Assistente Percilia Cardoso Giaquinto

Tese apresentada ao Programa de
Pós-graduação em Aquicultura do
Centro de Aquicultura da UNESP -
CAUNESP, como parte dos requisitos
para obtenção do título de Doutor.

Jaboticabal, São Paulo

2023

F273e Favero Neto, João
Efeito do enriquecimento ambiental no bem-estar e parâmetros zootécnicos de tilápias (*Oreochromis niloticus*) cultivadas em diferentes densidades / João Favero Neto. -- Jaboticabal, 2023
vi, 64 p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura, 2023
Orientadora: Percilia Cardoso Giaquinto
Banca examinadora: Carla Forte Maiolino Molento, Paulo Fernandes Marcusso, Caroline Marques Maia, Assaf Barki
Bibliografia

1. Enriquecimento estrutural. 2. Comportamento animal. 3. Aquicultura. 4. Produção de peixe. I. Título. II. Jaboticabal-Centro de Aquicultura.

CDU 639.3.09

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: Efeito do enriquecimento ambiental no bem-estar e parâmetros zootécnicos de tilápias (*Oreochromis niloticus*) cultivadas em diferentes densidades

AUTOR: JOÃO FAVERO NETO

ORIENTADORA: PERCILIA CARDOSO GIAQUINTO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Aquicultura, pela Comissão Examinadora:



Profa. Dra. PERCILIA CARDOSO GIAQUINTO
Departamento de Biologia Estrutural e Funcional / UNESP, Instituto de Biociências (Câmpus de Botucatu)



Profa. Dra. CARLA FORTE MAIOLINO MOLENTI
Setor de Ciências Agrárias, LABEA - Laboratório de Bem-Estar Animal / Universidade Federal do Paraná, UFPR, Curitiba-PR



Prof. Dr. PAULO FERNANDES MARCUSSO
Departamento de Clínica Veterinária / FMVZ, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (Câmpus de Botucatu)



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Centro de Aquicultura da Unesp - CAUNESP



Dra. CAROLINE MARQUES MAIA
FishEthoGroup (FEG) Association, Orlhão - Portugal e organização Allanima, São Paulo - Brasil

Prof. Dr. ASSAF BARKI (Participação Virtual)
Department of Poultry and Aquaculture / Institute of Animal Science, the Volcani Center, ARD, Israel

Jaboticabal, 26 de maio de 2023

Agradecimentos

A Deus por minha vida, família, amigos e por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

Aos meus pais, Neide Ap. Bonin Favero e Aguinaldo Favero, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

A meu irmão, Marco Aurelio B. Favero, pelo companheirismo e amizade.

A todos os amigos e companheiros de trabalho que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida, com certeza. Em especial, aos meus amigos Paulo F. Toro, Nina P. C. Alves e Juliana S. Lunardi, pela ajuda nas biometrias, discussões e apoio em todo momento.

À minha amiga e companheira de pós graduação, Camila F. P. Faria, por toda ajuda nas análises laboratoriais e interpretação dos dados.

À professora Percília Cardoso Giaquinto, pela orientação, amizade, apoio e confiança que sempre depositou em mim. Foram alguns anos dessa parceria e tenho certeza que não se encerra agora.

Aos professores Helton C. Delício e Rodrigo E. Barreto, por terem disponibilizado tempo e habilidade para ajudar na coleta de sangue.

Ao professor Rogério Antônio de Oliveira, pela grande ajuda nas análises estatísticas e interpretação dos dados.

Aos secretários David, Luciana e à técnica de laboratório Renata, que sempre me ajudaram quando precisei.

Ao Instituto de Biociências de Botucatu e setor Fisiológica, que me permitiram a realização do experimento.

*Ao Programa de Pós Graduação em Aquicultura - CAUNESP,
pela oportunidade da realização do curso de Doutorado.*

*A todos que direta ou indiretamente fizeram parte de minha
formação, o meu muito obrigado!*

Apoio Financeiro

CAPES, Bolsa de Doutorado, Processo nº 88882.433860/2019-01

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Auxílio Pesquisa Regular FAPESP Processo nº 2019/19952-8

Resumo

A produção de organismos aquáticos cresceu em ritmo acelerado nos últimos anos e estima-se crescimento ainda maior no setor. A aquicultura tem como destaque a produção de peixes, em especial a tilápia do Nilo, que apresenta números significativos de produção no Brasil e no mundo. Em relação à produção aquícola, conceitos de bem-estar animal se fazem presentes nas discussões e agendas mundiais, porém, na prática, a aplicação de ferramentas que melhorem o bem-estar ainda é bastante incipiente. Enriquecimento ambiental como forma de promover o bem-estar animal em sistemas produtivos está no foco das discussões, com destaque para o enriquecimento físico. Na produção aquícola, a densidade de estocagem é um dos fatores que afeta tanto o bem-estar e saúde dos peixes, como também afeta a economia da produção. Assim, associar o enriquecimento ambiental (EA) com a melhor densidade de estocagem, pode potencializar a produção e o bem-estar dos animais. Para tanto, aqui avaliamos se o enriquecimento ambiental estrutural (EAE) afeta os parâmetros zootécnicos e o bem-estar de tilápias, investigando se tal efeito é influenciado pela densidade de estocagem. O delineamento experimental consistiu de 6 tratamentos: aguapé artificial (enriquecimento ambiental estrutural) e controle (sem enriquecimento ambiental), ambos em três densidades (600, 800 e 1000 peixes/m³). Não houve mortalidade e o estado de saúde se manteve ótimo para todos os grupos experimentais. No grupo com EAE, não houve diferenças para ganho de peso, ganho de peso diário e conversão alimentar entre as densidades, no entanto, foram observadas diferenças significativas nos peixes cultivados sem enriquecimento ambiental, onde o grupo com densidade de 600 peixes/m³ apresentou pior resultado. Na comparação entre ambiente enriquecido e controle, houve diferença significativa para a menor densidade, com melhor resultado para o tratamento com aguapé artificial. Com relação a biomassa, os grupos experimentais diferem estatisticamente entre as três densidades, com os maiores valores diretamente proporcionais às densidades. Entre ambiente enriquecido e controle, houve diferença para a menor densidade, onde maior valor da biomassa foi encontrado para o tratamento enriquecido. A preferência pelo EAE foi evidente para as três densidades, onde a frequência dos peixes foi maior perto do recurso. Houve menor frequência de confrontos na condição de enriquecimento com as duas menores

densidades (600 e 800 peixes/m³) comparadas ao grupo controle. As frequências de forrageamento e de estereotípias apresentaram melhores resultados para o tratamento aguapé artificial independente da densidade avaliada. Além disso, o enriquecimento parece não ter efeito sobre as concentrações de cortisol nos peixes, no entanto, encontramos melhores resultados em tilápias cultivadas nas duas maiores densidades (800 e 1000 peixes/m³). O enriquecimento ambiental pode ser uma alternativa eficiente para melhorar o bem-estar de tilápias em sistema de cultivo e associado a densidade de 800 peixes/m³, pode proporcionar ganhos ainda maiores para o bem-estar animal e para a produção.

Palavras-chave: enriquecimento estrutural, comportamento animal, aquicultura, produção de peixe

Abstract

The production of aquatic organisms has grown at an accelerated pace in recent years and even greater growth is expected in the sector. Aquaculture stands out in the production of fish, especially Nile tilapia, which has significant production numbers in Brazil and around the world. Regarding aquaculture production, animal welfare concepts are present in global discussions and agendas, however, in practice, the application of tools that improve welfare is still incipient. Environmental enrichment as a way to promote animal welfare in production systems is the focus of discussions, with an emphasis on physical enrichment. In aquaculture production, stocking density is one of the factors that affect both the well-being and health of the fish and the economics of production. Thus, associating environmental enrichment (EE) with the best stocking density can enhance production and animal welfare. Therefore, here we evaluate whether structural environmental enrichment (SEE) affects the zootechnical parameters and the well-being of tilapia and investigate whether this effect is influenced by stocking density. The experimental design consisted of 6 treatments: artificial water hyacinth (structural environmental enrichment) and control (without environmental enrichment), both at three densities (600, 800, and 1000 fish/m³). There was no mortality, and health status remained excellent for all experimental groups. In the SEE group, there were no differences in weight gain, daily weight gain, and feed conversion between densities, however, significant differences were observed in fish reared without environmental enrichment, where the group with a density of 600 fish/m³ presented worse results. Comparing the enriched environment with the control, there was a significant difference for the lowest density, with better results for the treatment with artificial water hyacinth. With regard to biomass, the experimental groups differ statistically between the three densities, with the highest values directly proportional to the densities. Between the enriched environment and the control, there was a difference for the lowest density, where higher biomass value was found for the enriched treatment. The preference for SEE was evident for the three densities, where the fish frequency was higher near the resource. There was a lower frequency of confrontations in the enrichment condition with the two lowest densities (600 and 800 fish/m³) compared to the control group. Foraging and stereotypy frequencies showed better results for the artificial water hyacinth treatment regardless of the

evaluated density. Furthermore, enrichment seems not to have an effect on cortisol concentrations in fish, however, we found better results in tilapia grown at the two highest densities (800 and 1000 fish/m³). Environmental enrichment can be an efficient alternative to improve the welfare of tilapia in a culture system and associated with a density of 800 fish/m³, can provide even greater gains for animal welfare and production.

Keywords: structural enrichment, animal behavior, aquaculture, fish production

1. Introdução

1.1. Panorama da aquicultura

Aquicultura é por definição a produção em cativeiro de organismos com habitat predominantemente aquático (Rana, 1997)¹. A indústria da aquicultura vem crescendo rapidamente em escala global e nos últimos 50 anos foi o setor que mais se destacou, crescendo uma média de 5,3% ao ano (FAO, 2020), sendo a estimativa de crescimento mundial até 2030 de 46,3% (FAO, 2018). Em 2021 o setor cresceu 17% movimentando US \$175 bilhões, mesmo com toda a dificuldade da pandemia da Covid-19 (FAO, 2022), mostrando a força do setor e sua resiliência em promover uma maior produção e comércio.

Dentro da aquicultura, a produção de peixes se destaca e representa 56% do total das fontes de proteína animal comercializadas internacionalmente, ultrapassando outras fontes proteicas tais como porco, gado e frango (FAO, 2022), podendo suprir à crescente demanda por alimentos de alto valor nutricional (FAO, 2018). Dentre os países com potencial para crescimento desta atividade, o Brasil se destaca com suas condições naturais, clima favorável, aproximadamente 13% da água doce renovável do planeta (Rocha et al., 2013), além de uma grande costa oceânica e grande variedade de peixes com potencial para aquicultura (Nakatani et al., 2001).

O destaque para o segmento aquícola fica para a espécie tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), peixe que apresenta uma das maiores produções em todo o mundo e tende a se intensificar nos próximos anos (FAO, 2020). No cenário nacional não é diferente, o protagonismo da tilápia se confirma anualmente. Em 2021 sua produção foi de 534.005 toneladas, um salto de 9,8% comparado ao ano anterior (486.155 t) (Peixe Br, 2022). Segundo relatório da FAO (2018), o Brasil encontra-se na quarta posição de produção de tilápia no mundo.

Essa ascensão e consolidação não são por acaso. As espécies de tilápias que pertencem ao gênero *Oreochromis* correspondem atualmente ao grupo de peixes que mais se expande no mundo, e hoje são criadas em mais de cem países (Massago, 2010). Possuir características favoráveis dentre as espécies produzidas

¹ Revista selecionada para modelo de referência: Aquaculture

na aquicultura confere vantagens que priorizam sua criação. Características tais como precocidade, rápido crescimento, conversão alimentar eficiente, rusticidade (Boscolo et al.; 2001; Shokr, 2015) e hábito alimentar diversificado, o que favorece sua aceitação por alimento industrializado (Souza et al., 2013). As tilápias tem boa adaptabilidade aos diferentes sistemas de produção, sendo resistentes a variações de pH, temperatura, oxigênio, (Ayroza *et al.*, 2005; Silva et al., 2012) e doenças (Pandini, 2016). Também apresentam carne com boas características organolépticas (Furuya et al., 2005) e, além disso, possui ótimo pacote tecnológico (FAO, 2016). Todos estes aspectos contribuem para tornar sua criação atraente e lucrativa, confirmando seu favoritismo dentro da produção aquícola. Sem dúvidas, a espécie tem importante papel no mercado, podendo contribuir com a demanda de alimento diante do crescimento populacional.

Considerando os fatores que propiciaram a melhora e afirmação da tilapicultura no Brasil, temos: aumento e aperfeiçoamento na produção de alevinos masculinizados, melhorias nas linhagens cultivadas, potencial brasileiro para desenvolvimento da aquicultura, incentivos governamentais, clima propício ao cultivo e demanda por pescado sempre em alta.

Outro fator que merece destaque é a consolidação e intensificação no uso de tanques rede em reservatórios e tanques escavados (Bandeira e Nascimento, 2017). A produção de tilápias nesse sistema traz benefícios para a piscicultura. A implantação desse sistema de cultivo exige baixo investimento inicial comparado a outros sistemas de produção. Nesse modelo é feito o aproveitamento de recursos aquáticos já presentes na propriedade (Signor et al., 2020), renovação de água contínua, flexibilidade para criação em altas densidades, cultivo de diversas espécies e facilidade de manejo (Borges et al., 2012; Castro et al., 2014; Mendes e Carvalho, 2016).

O cultivo em tanques rede vem ganhando cada vez mais espaço, no entanto, com essa crescente na produção e demanda mundial por pescado, o acelerado processo de expansão do setor levanta preocupações importantes e que não podem mais ser negligenciadas (Huntingford et al., 2006). A União Europeia, por exemplo, mostrou em uma pesquisa que a população está se tornando mais exigente em relação às condições em que os peixes são criados. Para tanto,

políticas públicas e econômicas, além da garantia de sustentabilidade ambiental e de bem-estar animal (Joffre e Verdegem, 2019) se fazem necessárias.

5. Conclusão

Neste estudo, mostramos que o enriquecimento ambiental estrutural, aguapé artificial, melhora o bem-estar e parâmetros zootécnicos de produção mitigando problemas de densidade de estocagem e promovendo maior satisfação comportamental aos peixes. Associado a densidade de estocagem de 800 peixes/m³ (16 peixes/aquário) na tilapia do Nilo pode proporcionar melhores resultados.

6. Referências

- Antunes, D. F., Reyes-Contreras, M., Glauser, G., e Taborsky, B., 2021. Early social experience has life-long effects on baseline but not stress-induced cortisol levels in a cooperatively breeding fish. *Hormones and behavior*. 128. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2020.104910>
- Araujo, G. S., Silva, J. W. A., Moreira, T. S., Maciel, R. L., Farias, W. R. L., 2011. Cultivo da tilápia do Nilo em tanques-rede circulares e quadrangulares em duas densidades de estocagem. *Bioscience Journal*. 27, 805-812.
- Arechavala-Lopez, P., Caballero-Froilán, J. C., Jiménez-García, M., Capó, X., Tejada, S., Saraiva, J. L., Moranta, D., 2020. Enriched environments enhance cognition, exploratory behaviour and brain physiological functions of *Sparus aurata*. *Sci. Rep.* 10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68306-6>
- Arechavala-Lopez, P., Cabrera-Álvarez, M. J., Maia, C. M., Saraiva, J. L., 2022. Environmental enrichment in fish aquaculture: A review of fundamental and practical aspects. *Reviews in Aquaculture*. 14, 704–728. <https://doi.org/10.1111/raq.12620>
- Arechavala-Lopez, P., Diaz-Gil, C., Saraiva, J. L., Moranta, D., Castanheira, M. F., Nuñez-Velázquez, S., Ledesma-Corvi, S., Mora-Ruiz, M. R., Grau, A., 2019. Effects of structural environmental enrichment on welfare of juvenile seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture Reports*. 15. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2019.100224>
- Ayroza, L. M. S., Furlaneto, F. P. B., Ayroza, D. M. M. R., Sussel, F. R., 2005. Piscicultura no médio Paranapanema: situação e perspectivas. *Pesquisa e tecnologia*. 2, 1-8.
- Azevedo, C. S. e Barçante, L., 2018. Enriquecimento ambiental em zoológicos: em busca do bem-estar animal. *Revista Brasileira de Zootecias - Etologia Aplicada e Bem-estar Animal*. 19. <https://doi.org/10.34019/2596-3325.2018.v19.24708>
- Bandeira, M. G. A. e Nascimento, J. S., 2017. Estudo prospectivo relativo à atividade da tilápia para a indústria de alimentos no período de 2006 a 2016. *Caderno de Prospecção Salvador*. 10, 552-562. <http://dx.doi.org/10.9771/cp.v10i3.23029>

Barcellos, L. J. G., Nicolaiewsky, S. S. M. G., De Souza, S. M. G., e Lulhier, F., 1999. Plasmatic levels of cortisol in the response to acute stress in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), previously exposed to chronic stress. *Aquaculture Research*, 30, 437-444. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.1999.00348.x>

Barreto, R. E., Carvalho, G. G. A., Volpato, G. L., 2011. The aggressive behavior of Nile tilapia introduced into novel environments with variation in enrichment. *Zoology*. 114, 53-57. <https://doi.org/10.1016/j.zool.2010.09.001>.

Basquill, S. P., e Grant, J. W., 1998. An increase in habitat complexity reduces aggression and monopolization of food by zebra fish (*Danio rerio*). *Canadian Journal of Zoology*. 76, 770-772. <https://doi.org/10.1139/z97-232>

Batzina, A. e Karakatsouli, N., 2012. The presence of substrate as a means of environmental enrichment in intensively reared gilthead seabream *Sparus aurata*: Growth and behavioral effects. *Aquaculture*. 370–371, 54-60. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.10.005>

Benhaïm, D., Leblanc, C. A., Lucas, G., 2009. Impact of a new artificial shelter on Arctic charr (*Salvelinus alpinus*, L.) behaviour and culture performance during the endogenous feeding period. *Aquaculture* 295, 38–43. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.06.024>

Biswas, A. K., Maita, M., Yoshizaki, G., e Takeuchi, T., 2004. Physiological responses in Nile tilapia exposed to different photoperiod regimes. *Journal of Fish Biolog.* 65, 811-821. <https://doi.org/10.1111/j.0022-1112.2004.00487.x>

Borges, F. F., Amaral, L. A., Stéfani, M. V., 2012. Characterization of effluents from bullfrog (*Lithobates catesbeianus*, Shaw, 1802) grow-out ponds. *Acta Limnologica Brasiliensia*. 24, 160–166. <http://dx.doi.org/10.1590/S2179-975X2012005000035>

Boscolo, C. N. P., Morais, R. N., Gonçalves-de-freitas, E., 2011. Same-sized fish groups increase aggressive interaction of sex-reversed males Nile tilapia GIFT strain. *Applied Animal Behaviour Science*. 135, 154–159. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2011.10.003>

Boscolo, W. R., Hayashi, C., Soares, C. M., Furuya, W. M., e Meurer, F., 2001. Desempenho e características de carcaça de machos revertidos de tilápias do Nilo

(*Oreochromis niloticus*), linhagens tailandesa e comum, nas fases inicial e de crescimento. Revista Brasileira de Zootecnia. 30, 1391-1396. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982001000600001>

Bozano, G. L. N., Rodrigues, S. R. M., Caseiro, A. C., Cyrino, J. E. P., 1999. Desempenho da tilápia nilótica *Oreochromis niloticus* (L.) em gaiolas de pequeno volume. Scientia Agricola. 56, 819-825. <https://doi.org/10.1590/S0103-90161999000400008>

Braithwaite, V. A. e Salvanes, A. G., 2005. Environmental variability in the early rearing environment generates behaviourally flexible cod: implications for rehabilitating wild populations. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences. 272, 1107-1113. <https://doi.org/10.1098/rspb.2005.3062>

Brignon, W. R., Pike, M. M., Ebbesson, L. O., Schaller, H. A., Peterson, J. T., e Schreck, C. B., 2018. Rearing environment influences boldness and prey acquisition behavior, and brain and lens development of bull trout. Environmental Biology of Fishes. 101, 383-401. <https://doi.org/10.1007/s10641-017-0705-z>

Brol, J., Pinho, S. M., Sgnaulin, T., Pereira, K. R., Thomas, M. C., De Mello, G. L., Miranda-Baeza, A., e Emerenciano, M. G. C., 2017. Tecnologia de bioflocos (BFT) no desempenho zootécnico de tilápias: efeito da linhagem e densidades de estocagem. Archivos de Zootecnia. 66, 229–235. <https://doi.org/10.21071/az.v66i254.2326>

Broom, D. M., 2011. Bem-estar animal. Comportamento Animal, 2a edn, ed. Yamamoto, M. E. and Volpato, G. L. 457-482.

Broom, D. M., Johnson, K. G. e Broom, D. M., 1993. Stress and Animal Welfare. London: Chapman e Hall. 993.

Brown, C., Davidson, T. e Laland, K., 2003. Environmental enrichment and prior experience of live prey improve foraging behaviour in hatchery-reared Atlantic salmon. Journal of Fish Biology. 63, 187-196. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2003.00208.x>

Brown, C., Laland, K., Krause, J., 2011. Fish Cognition and Behaviour. Wiley-Blackwell. 1-9. <https://doi.org/10.1002/9781444342536.ch1>

- Brunet, V., Kleiber, A., Patinote, A., Sudan, P. L., Duret, C., Gourmelen, G., Moreau, E., Fournel, C., Pineau, L., Calvez, S., Milla, S., Colson, V., 2022. Positive welfare effects of physical enrichments from the nature-, functions- and feeling- based approaches in farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*. 550, 15. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737825>
- Carneiro, P. C. F., Martins, M., & Cyrino, J. E. P., 1999. Estudo de caso da criação comercial de tilápia vermelha em tanques-rede-Avaliação econômica. *Informações Econômicas*, 29, 52–64.
- Castro, C. S., Agostinho, C. A., Santos, A. A. D., Favero Neto, J., Ribeiro, R. R., Agostinho, L. M., Santos, A. A. D., Carmelin Jr., C. A., Chan, R. V., 2014. Polyculture of frogs and tilapia in cages with high feeding frequency. *Aquacultural Engineering Elsevier*. 61, 43-48. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2014.06.001>
- Cogliati, K. M., Herron, C. L., Noakes, D. L. G., Schreck, C. B., 2019. Reduced stress response in juvenile Chinook Salmon reared with structure. *Aquaculture* 504, 96–101. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.01.056>
- Cyrino, J. E. P., Bicudo, Á. J. de A., Sado, R. Y., Borghesi, R., & Dairik, J. K., 2010. A piscicultura e o ambiente: o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39, 68–87. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001300009>
- da Silva, D. R., Arvigo, A. L., Giaquinto, P. C., Delicio, H. C., Barcellos, L. J. G., Barreto, R. E., 2021. Effects of clove oil on behavioral reactivity and motivation in Nile tilapia. *Aquaculture*. 532. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736045>
- Dawkins, M. S., 1990. From an animal's point of view: Motivation, fitness, and animal welfare. *Behavioral and Brain Sciences*. 13, 1-9. <https://doi.org/10.1017/S0140525X00077104>
- Dawkins, M. S., 2006. A user's guide to animal welfare science. *Trends in Ecology & Evolution*. 21, 77–82. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.10.017>
- Delaney, M. A., Klesius, P. H., e Shelby, R. A., 2005. Cortisol response of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), to temperature changes. *Journal of Applied Aquaculture*. 16, 95-104. https://doi.org/10.1300/J028v16n03_06

Delicio, H. C., Barreto, R. E., Normandes, E. B., Luchiari, A. C., Marcondes, A. L., 2006. A place preference test in the fish Nile tilapia. *Journal of Experimental Animal Science* 43, 141–148. <https://doi.org/10.1016/j.jeas.2006.01.001>

DePasquale, C., Fettrow, S., Sturgill, J., Braithwaite, V. A., 2019. The impact of flow and physical enrichment on preferences in zebrafish. *Applied Animal Behaviour Science*. 215, 77-81. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2019.03.015>

Dolinsek, I. J., Grant, J. W. A., e Biron, P. M., 2007. The effect of habitat heterogeneity on the population density of juvenile Atlantic salmon *Salmo salar* L. *Journal of Fish Biology*. 70, 206-214. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2006.01296.x>

Dou, S., Seikai, T., e Tsukamoto, K., 2000. Cannibalism in Japanese flounder juveniles, *Paralichthys olivaceus*, reared under controlled conditions. *Aquaculture*. 182, 149-159. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00256-2](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00256-2)

Eason, P. K. e Stamps, J. A., 1992. The effect of visibility on territory size and shape. *Behavioral Ecology*. 3, 166– 172. <https://doi.org/10.1093/beheco/3.2.166>

Ellis, T., North, B., Scott, A. P., Bromage, N. R., Porter, M., e Gadd, D., 2002. The relationships between stocking density and welfare in farmed rainbow trout. *Journal of Fish Biology*. 61, 493– 531. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2002.tb00893.x>

Ellison, A. R., Uren Webster, T. M., Rey, O., Garcia de Leaniz, C., Consuegra, S., Orozco-terWengel, P., Cable, J., 2018. Transcriptomic Response to Parasite Infection in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Depends on Rearing Density. *BMC Genom*. 19, 723. <https://doi.org/10.1186/s12864-018-5098-7>

FAO, 2016. The State of World Fisheries and Aquaculture 2016. Contributing to food security and nutrition for all. Rome.

FAO, 2018. The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals. Rome.

FAO, 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>

FAO, 2022. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>

Favero Neto, J. e Giaquinto, P. C., 2020. Environmental enrichment techniques and tryptophan supplementation used to improve the quality of life and animal welfare of Nile tilapia. *Aquaculture Reports*. 17, 100354. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100354>

Fernandes, M. O. e Volpato, G. L., 1993. Heterogeneous growth in the Nile tilapia: Social stress and carbohydrate metabolism. *Physiology e Behavior*. 54, 319–323. [https://doi.org/10.1016/0031-9384\(93\)90117-X](https://doi.org/10.1016/0031-9384(93)90117-X)

Fife-Cook, I., Franks, B., 2019. Positive welfare for fishes: rationale and areas for future study. *Fishes*. 4. <https://doi.org/10.3390/fishes4020031>.

Franks, B., 2018. Cognition as a cause, consequence, and component of welfare *Adv. Agric. Anim. Welfare*. 3-24. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101215-4.00001-8>

Fraser, D., Duncan, I. J. H., 1998. 'Pleasures', 'pain' and animal welfare: towards a natural history of affect. *Anim. Welf*. 7, 383–396.

Freitas, R. H. A. e Volpato, G. L., 2013. Motivation and time of day affect decision-making for substratum granulometry in the Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Journal of Applied Ichthyology* 29, 239–241. <https://doi.org/10.1111/jai.12026>

Furuya, W. M., Botaro, D., Macedo, R. M. G., Gomes dos Santos, V., Silva, L. C. R., Silva, T. C., Furuya, V. R. B., Sales, P. J. P., 2005. Aplicação do conceito de proteína ideal para redução dos níveis de proteína em dietas para tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Revista Brasileira de Zootecnia*. 34, 1433-1441.

Galhardo, L., Almeida, O., Oliveira, R. F., 2009. Preference for the presence of substrate in male cichlid fish: effects of social dominance and context. *Applied Animal Behaviour Science*. 120, 224–230. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2009.07.001>

Galhardo, L., Correia, J., e Oliveira, R. F., 2008. The effect of substrate availability on behavioural and physiological indicators of welfare in the African cichlid

(*Oreochromis mossambicus*). *Animal Welfare*. 17, 239-254.
<https://doi.org/10.1017/S0962728600032164>

Garcia, F., Romera, D. M., Gozi, K. S., Onaka, E. M., Fonseca, F. S., Schalch, S. H. C., Candeira, P. G., Guerra, L. O. M., Carmo, F. J., Carneiro, D. J., Martins, M. I. E. G., Portella, M. C., 2013. Stocking Density of Nile Tilapia in Cages Placed in a Hydroelectric Reservoir. *Aquaculture*. 410–411, 51–56.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.06.010>

Garner, J. P., 2005. Stereotypies and other abnormal repetitive behaviors: potential impact on validity, reliability, and replicability of scientific outcomes, *ILAR Journal*. 46, 106–117. <https://doi.org/10.1093/ilar.46.2.106>

Gauy, A. C. S., Boscolo, C. N. P. e Gonçalves-de-freitas, E., 2018. Less water renewal reduces effects on social aggression of the cichlid *Pterophyllum scalare*. *Applied Animal Behaviour Science*. 198, 121–126.
<https://doi.org/10.1016/j.applanim.2017.10.003>

Gesto, M. e Jokumsen, A., 2022. Effects of simple shelters on growth performance and welfare of rainbow trout juveniles. *Aquaculture*. 551.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.737930>

Gilderhus, P. A., Marking, L. L., 1987. Comparative efficacy of 16 anaesthetic chemicals on rainbow trout. *North American Journal of Fisheries and Management*. 7, 288- 292. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1987\)7<288:CEOACO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1987)7<288:CEOACO>2.0.CO;2)

Gonçalves, L. V., Herlinger, A. L., Ferreira, T. A. A., Coitinho, J. B., Pires, R. G. W., & Martins-Silva, C., 2018. Environmental enrichment cognitive neuroprotection in an experimental model of cerebral ischemia: Biochemical and molecular aspects. *Behavioural Brain Research*, 348, 171-183.
<https://doi.org/10.1016/J.BBR.2018.04.023>

Gonçalves-de-Freitas, E., Bolognesi, M. C., Gauy, A. C. S., Brandão, M. L., Giaquinto, P. C., Fernandes-Castilho, M., 2019. Social Behavior and Welfare in Nile Tilapia. *Fishes*. 4, 23. <https://doi.org/10.3390/fishes4020023>

- Greaves, K. e Tuene, S., 2001. The form and context of aggressive behaviour in farmed Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). *Aquaculture*. 193, 139-147. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00476-2](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00476-2)
- Gwak, W. S., 2003. Effects of shelter on growth and survival in age-0 black sea bass, *Centropristis striata* (L.). *Aquaculture Research*. 34, 1387– 1390. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2003.00956.x>
- Hoelzer, G., 1987. The effect of early experience on aggression in two territorial scorpaenid fishes. *Environmental Biology of Fishes*. 19, 183– 194.
- Höjesjö, J., Johnsson, J., e Bohlin, T., 2004. Habitat complexity reduces the growth of aggressive and dominant brown trout (*Salmo trutta*) relative to subordinates. *Behavioral Ecology and Sociobiology*. 56, 286-289. <https://doi.org/10.1007/s00265-004-0784-7>
- Huntingford, F. A., Adams, C., Braithwaite, V. A., Kadri, S., Pottinger, T. G., Sandøe, P., Turnbull, J. F., 2006. Current issues in fish welfare. *J Fish Biol*. 68, 332-372. <https://doi.org/10.1111/j.0022-1112.2006.001046.x>
- Huntingford, F., Kadri, S., Jobling, M., 2012. Introduction: Aquaculture and Behaviour. *Aquaculture and Behaviour*. 1-35. <https://doi.org/10.1002/9781444354614.ch1>
- Huysman, N., Voorhees, J. M., Krebs, E. Barnes, M. E., 2020. Vertically-Suspended Environmental Enrichment Improves Growth of Landlocked Fall Chinook Salmon during Initial Hatchery Rearing. *Open Journal of Applied Sciences*. 10, 725-731. <https://doi.org/10.4236/ojapps.2020.1011051>
- Hyvärinen, P., e Rodewald, P., 2013. Enriched rearing improves survival of hatchery-reared Atlantic salmon smolts during migration in the River Tornionjoki. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 70, 1386-1395. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2013-0147>
- Joffre O., Verdegem, M., 2019. Feeding both pond and fish: a pathway to ecological intensification of aquaculture systems. *INFOFISH International*. 3, 55-58.

Johnsson, J. I., 2003. Group size influences foraging effort independent of predation risk: an experimental study on rainbow trout. *Journal of Fish Biology*. 63, 863-870. <https://doi.org/10.1046/j.1095-8649.2003.00187.x>

Johnsson, J. I.; Winberg, S.; Sloman, K. A., 2005. Social interactions. *Fish Physiology*. 24, 151-196. [https://doi.org/10.1016/S1546-5098\(05\)24005-0](https://doi.org/10.1016/S1546-5098(05)24005-0)

Kadry, V. O., e Barreto, R. E., 2010. Environmental enrichment reduces aggression of pearl cichlid, *Geophagus brasiliensis*, during resident-intruder interactions. *Neotropical Ichthyology*. 8, 329-332. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252010000200011>

Karvonen, A., Aalto-Araneda, M., Virtala, A. M., Kortet, R., Koski, P., Hyvärinen, P., Strecker, A., 2016. Enriched rearing environment and wild genetic background can enhance survival and disease resistance of salmonid fishes during parasite epidemics. *J. Appl. Ecol*. 53, 213–221. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12568>

Kientz, J. L., Crank, K. M. and Barnes, M. E., 2018. Enrichment of Circular Tanks with Vertically Suspended Strings of Colored Balls Improves Rainbow Trout Rearing Performance. *North Am J Aquaculture*. 80, 162-167. <https://doi.org/10.1002/naaq.10017>

Kristiansen, T. S., Fernö, A., Holm, J. C., Privitera, L., Bakke, S., e Fosseidengen, J. E., 2004. Swimming behaviour as an indicator of low growth rate and impaired welfare in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) reared at three stocking densities. *Aquaculture*. 230, 137-151. [https://doi.org/10.1016/S00448486\(03\)00436-8](https://doi.org/10.1016/S00448486(03)00436-8)

Lopes, D. A., Souza, T. M. O., de Andrade, J. S., Silva, M. F. S., Antunes, H. K. M., Le Sueur-Maluf, L., Viana, M. B., 2018. Environmental enrichment decreases avoidance responses in the elevated T-maze and delta FosB immunoreactivity in anxiety-related brain regions. *Behavioural Brain Research*, 344, 65e72. <https://doi.org/10.1016/J.BBR.2018.02.012>

Maeda, H., Silva, P. C., Oliveira, R. P. C., Aguiar, M. S., Pádua, D. M. C., Machado, N. P., Rodrigues, V., Silva, R. H., 2010. Densidade de estocagem na alevinagem

de tilápia-do-nilo em tanque-rede. *Ciência Animal Brasileira/ Brazilian Animal Science*. 11, 471-476. <https://doi.org/10.5216/cab.v11i3.1472>

Magalhães, A., Gregório, H. B., Gimenez, A. L. Y., Santos, R. S., Amaral, M. O., Salomão, R. A. S., 2022. Desempenho de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em diferentes densidades populacionais. *PUBVET*. 16, a1112, 1-7. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v16n05a1112.1-7>

Maia, C. M. e Volpato, G. L., 2018. Preference index supported by motivation tests in Nile tilapia. *PLoS ONE*. 13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192283>

Marengoni, N. G., 2006. Produção de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (linhagem chitralada), cultivada em tanques-rede, sob diferentes densidades de estocagem. *Archivos de Zootecnia*. 55, 127- 138.

Martins, C. I. M., Galhardo, L., Noble, C., Damsgård, B., Spedicato, M. T., Zupa, W., Beauchaud, M., Kulczykowska, E., Massabuau, J. C., Carter, T., Planellas, S. R., Kristiansen, T., 2012. Behavioural indicators of welfare in farmed fish. *Fish Physiology and Biochemistry*. 38, 17–41. <https://doi.org/10.1007/s10695-011-9518-8>

Mason, G. J., 1991. Stereotypies: a critical review. *Animal Behaviour*. 41, 1015–1037. [https://doi.org/10.1016/S0003-3472\(05\)80640-2](https://doi.org/10.1016/S0003-3472(05)80640-2)

Massago, H., Castagnli, N., Malheiros, E. B., Koberstein, T. C. R. D., Santos, M. A., Ribeiro, R. P., 2010. Crescimento de quatro linhagens de tilápia *Oreochromis niloticus*. *Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambientais*. 8, 397-403. <https://doi.org/10.7213/cienciaanimal.v8i4.10970>

Meante, R. E. X e Dória, C. R. C., 2017. Caracterização da Cadeia Produtiva da Piscicultura no Estado de Rondônia: Desenvolvimento e Fatores Limitantes. *Revista de Administração e Negócios da Amazônia- RARA*. 9, 164-181. <https://doi.org/10.18361/2176-8366/rara.v9n4p164-181>

Mellor, D. J., 2016. Updating animal welfare thinking: moving beyond the “five freedoms” towards “a life worth living”. *Anim. Open Access J. MDPI*. 6 <https://doi.org/10.3390/ani6030021>

Mendes, A. I. e Carvalho, M. C., 2016. Caracterização da piscicultura em tanques-rede no município de rubinéia-sp: Um Estudo de Caso. Revista do Agronegócio – Reagro, Jales. 5, 16–33.

Mikheev, V. N., Pasternak, A. F., Tischler, G., e Wanzenböck, J., 2005. Contestable shelters provoke aggression among 0+ perch, *Perca fluviatilis*. Environmental biology of fishes. 73, 227-231. <https://doi.org/10.1007/s10641-005-0558-8>

Moberg, O., Braithwaite, V. A., Jensen, K. H., e Salvanes, A. G. V., 2011. Effects of habitat enrichment and food availability on the foraging behaviour of juvenile Atlantic Cod (*Gadus morhua* L). Environmental Biology of Fishes. 91, 449-457. <https://doi.org/10.1007/s10641-011-9803-5>

Mommsen, T. P., Vijayan, M. M., e Moon, T. W., 1999. Cortisol in teleosts: Dynamics, mechanisms of action, and metabolic regulation. Reviews in Fish Biology and Fisheries. 9, 211– 268. <https://doi.org/10.1023/A:1008924418720>

Naderi, M., Keyvanshokoo, S., Salati, A. P., e Ghaedi, A., 2017. Combined or individual effects of dietary vitamin E and selenium nanoparticles on humoral immune status and serum parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) under high stocking density. Aquaculture. 474, 40– 47. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.03.036>

Nakatani, K., Agostinho, A. A., Baumgartner, G., Bialecki A., Sanches, P. V., Makrakis, M. C., Pavanelli, C. S., 2001. Ovos e larvas de peixes de água doce: desenvolvimento e manual de identificação. Maringá: Eduem. 378.

Näslund, J., Aarestrup, K., Thomassen, S. T., Johnsson, J. I., 2012. Early enrichment effects on brain development in hatchery-reared Atlantic salmon (*Salmo salar*): no evidence for a critical period. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 69. <https://doi.org/10.1139/F2012-074>.

Näslund, J., e Johnsson, J. I., 2016. Environmental enrichment for fish in captive environments: effects of physical structures and substrates. Fish and Fisheries. 17, 1-30. <https://doi.org/10.1111/faf.12088>

Ni, M., M. Liu, J. Lou, G. Mi, J. Yuan, e Z. Gu., 2021. Stocking density alters growth performance, serum biochemistry, digestive enzymes, immune response, and

muscle quality of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) in in-pond raceway system. Fish Physiology and Biochemistry. 47, 1243–55. <https://doi.org/10.1007/s10695-021-00948-3>

Nijman, V., e Heuts, B. A., 2000. Effect of environmental enrichment upon resource holding power in fish in prior residence situations. Behavioural Processes. 49, 77-83. [https://doi.org/10.1016/S0376-6357\(00\)00078-4](https://doi.org/10.1016/S0376-6357(00)00078-4)

Nijman, V., e Heuts, B. A., 2011. Aggression and dominance in cichlids in resident-intruder tests: the role of environmental enrichment. Neotropical Ichthyology. 9, 543-545. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252011005000031>

Oliveira, N. Y., Sousa, O. M., Kuhnen V. V., Sanches E. G., 2019. Shelters influence in dusky grouper culture. Bol. Inst. Pesca. 45, e473. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2019.45.3.473>

Olsson, I. A. S., e Dahlborn, K., 2002. Improving housing conditions for laboratory mice: a review of 'environmental enrichment'. Laboratory animals. 36, 243-270. <https://doi.org/10.1258/002367702320162379>

Øverli, Ø., Harris, C. A., Winberg, S., 1999. Short-term effects of fights for social dominance and the establishment of dominant-subordinate relationships on brain monoamines and cortisol in rainbow trout. Brain, Behavior and Evolution. 54, 263-275. <https://doi.org/10.1159/000006627>

Pandini, F., 2016. Ectoparasitas branquiais de *Oreochromis niloticus* de pisciculturas localizadas na área da bacia do Rio Azul, Paraná.

Pedrazzani, A. S., Molento, C. F. M., Carneiro, P. C. F., Castilho, M. F., 2007. Senciência e bem-estar de peixes: uma visão de futuro do mercado consumidor. Panorama da aquicultura.

Peixe Br, 2022. Anuário Brasileiro da Piscicultura - PEIXE BR 2022. Associação Brasileira da Piscicultura.

Pounder, K. C., Mitchell, J. L., Thomson, J. S., Pottinger, T. G., Buckley, J., Sneddon, L. U., 2016. Does environmental enrichment promote recovery from

stress in rainbow trout? *Applied Animal Behaviour Science*, 176, 136-142. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2016.01.009>

Rana, K. J., 1997. Guidelines on the collection of structural aquaculture statistics. Supplement to the Program for the world census of agriculture 2000. FAO Statistical Development Series, 5b. Roma. 56.

Reidel, A., Neto, C. C. B., Watanabe, A. L., Souza, K. N., Ferreira, H. K. A., Coldebella, A., Signor, A. A., 2021. Stocking density in lambari alevinos *Astyanax* sp. in net tanks. *Research, Society and Development*. 10, e6210817079. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i8.17079>

Rocha, C. M. C., Resende, E. K., Routledge, E. A. B., Lundstedt, L. M., 2013. Avanços na pesquisa e no desenvolvimento da aquicultura brasileira. *Pesq. agropec. bras.* 48 <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000800iii>

Rodewald, P., Hyvärinen, P., e Hirvonen, H., 2011. Wild origin and enriched environment promote foraging rate and learning to forage on natural prey of captive reared Atlantic salmon parr. *Ecology of Freshwater Fish*. 20, 569-579. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2011.00505.x>

Ronald, N., Gladys, B., Gasper, E., 2014. The Effects of Stocking Density on the Growth and Survival of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Fry at Son Fish Farm, Uganda. *J Aquac Res Development*. 5, 222. <https://doi.org/10.4172/2155-9546.1000222>

Rosburg, A. J., Fletcher, B. L., Barnes, M. E., Treft, C. E., Bursell, B. R., 2019. Vertically-Suspended Environmental Enrichment Structures Improve the Growth of Juvenile Landlocked Fall Chinook Salmon. *International Journal of Innovative Studies in Aquatic Biology and Fisheries*. 5, 17-24. <http://dx.doi.org/10.20431/2454-7670.0501004>

Rosengren, M., Kvingedal, E., Näslund, J., Johnsson, J. I., Sundell, K., 2017. Born to be wild: effects of rearing density and environmental enrichment on stress, welfare, and smolt migration in hatchery-reared Atlantic salmon. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 74, 396–405. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2015-0515>

Sadoul, B. e Vijayan, M. M., 2016. Stress and growth. *Fish Physiology*. 35, 167-205. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802728-8.00005-9>

Salas-Leiton, E., Anguis, V., Manchado, M., e Canavate, J. P., 2008. Growth, feeding and oxygen consumption of Senegalese sole (*Solea senegalensis*) juveniles stocked at different densities. *Aquaculture*. 285, 84-89. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.08.001>

Salvanes, A. G. V. e Braithwaite, V. A., 2005. Exposure to variable spatial information in the early rearing environment generates asymmetries in social interactions in cod (*Gadus morhua*). *Behavioral Ecology and Sociobiology*. 59, 250-257. <https://doi.org/10.1007/s00265-005-0031-x>

Salvanes, A. G. V., Moberg, O., Ebbesson, L. O. E., Nilsen, T. O., Jensen, K. H., Braithwaite, V. A., 2013. Environmental enrichment promotes neural plasticity and cognitive ability in fish. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.1331>.

Salvanes, A. G., Moberg, O., e Braithwaite, V. A., 2007. Effects of early experience on group behaviour in fish. *Animal Behaviour*, 74, 805-811. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2007.02.007>

Saraiva, J. L. F., Castanheira, M., Arechavala-Lopez, P., Volstorf, J., Heinzpeter Studer, B., 2018. Domestication and welfare in farmed fish. *Animal Domestication*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.77251>

Saraiva, J. L., Rachinas-Lopes, P. e Arechavala-Lopez, P., 2022. Finding the “golden stocking density”: A balance between fish welfare and farmers' perspectives. *Frontiers in Veterinary Science*. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.930221>

Segner, H., Reiser, S., Ruane, N., Rösch, R., Steinhagen, D., Vehanen, T., 2019. Welfare of fishes in aquaculture. In: *FAO Fisheries and Aquaculture Circular*.

Shokr, E. S., 2015. Effect of Follicular Stimulating Hormone and Leutinizing Hormone on Reproduction, Physiological and Biochemical Changes of *Oreochromis niloticus*. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences Physiology & Molecular Biology*. 7, 61-73. <https://doi.org/10.21608/EAJBSC.2015.13703>

Signor, A. A., Reidel, A., Coldebella, A., Ferreira, H. K. A., Signor, F. R. P., Buglione Neto, C. C. B., Watanabe, A. L., 2020. Densidade de estocagem de jundiá (*Rhamdia quelen*) em tanques-rede na fase inicial. Brazilian Journal of Development, 6, 43975-43985. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-132>

Silva, A., Lima, M. R., Meletti P. C., Jerep, F. C., 2020. Impact of environmental enrichment and social group size in the aggressiveness and foraging activity of *Serrapinnus notomelas*. Applied Animal Behaviour Science. 224. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2020.104943>

Silva, R. D., Rocha, L. O., Fortes, B. D. A., Vieira, D., e Fioravanti, M. C. S., 2012. Parâmetros hematológicos e bioquímicos da tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus* L.) sob estresse por exposição ao ar. Pesquisa Veterinária Brasileira. 32, 99–107. <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2012001300017>

Sneddon, L. U., 2015. Pain in aquatic animals. J. Exp. Biol. 218, 967–976. <https://doi.org/10.1242/jeb.088823>

Souza, R. C., Melo, J. F. B., Nogueira Filho, R. M., Campeche, D. F. B., & Figueiredo, R. A. C. R., 2013. Influência da farinha de manga no crescimento e composição corporal da tilápia do Nilo. Archivos de Zootecnia. 62, 217–225. <https://doi.org/10.4321/s0004-05922013000200007>

Stoskopf, M., 1993. Anaesthesia. Aquaculture for veterinarians: fish husbandry and medicine. London: Pergamon Veterinary Handbook Series. 161-168.

Strand, D. A., Utne-Palm, A. C., Jakobsen, P. J., Braithwaite, V. A., Jensen, K. H., e Salvanes, A. G., 2010. Enrichment promotes learning in fish. Marine Ecology Progress Series. 412, 273-282. <https://doi.org/10.3354/meps08682>

Teresa, F. B., Gonçalves-de-Freitas E., 2003. Interação Agonística em *Geophagus surinamensis* (Teleostei, Cichlidae). Revista de Etologia 5, 121-6.

Torrezani, C. S., Pinho-Neto, C. F., Miyai, C. A., Sanches, F. H. C. e Barreto, R. E., 2013. Structural enrichment reduces aggression in *Tilapia rendalli*. Marine and Freshwater Behaviour and Physiology. 46, 1– 8. <https://doi.org/10.1080/10236244.2013.805053>

- Turnbull, J. F. e Huntingford, F. A., 2012. Welfare and aquaculture: where benefish fits in. *Aquaculture Economics e Management*. 16, 433-440. <https://doi.org/10.1080/13657305.2012.729249>
- van de Nieuwegiessen, P. G., Boerlage, A. S., Verreth, J. A., e Schrama, J. W., 2008. Assessing the effects of a chronic stressor, stocking density, on welfare indicators of juvenile African catfish, *Clarias gariepinus* Burchell. *Applied Animal Behaviour Science*. 115, 233-243. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2008.05.008>
- Vijayan, M. M., Aluru, N. e Leatherland, J. F., 2010. Stress response and the role of cortisol. In: *Fish diseases and disorders*. 2, 182-201. <https://doi.org/10.1079/9781845935535.0182>
- Volpato, G. L., e Barreto, R. E., 2001. Environmental blue light prevents stress in the fish Nile tilapia. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*. 34, 1041-1045. <https://doi.org/10.1590/S0100-879X2001000800011>
- Volpato, G. L., Gonçalves-de-Freitas, E., Fernandes-deCastilho, M., 2007. Insights into the concept of fish welfare. *Diseases of Aquatic Organisms* 75, 165–171. <https://doi.org/10.3354/dao075165>
- Volpato, G.L., Giaquinto, P.C., Castilho, M.F., Barreto, R.E., Freitas, E.G. 2009. Animal Welfare: From Concepts to Reality. *Oecologia Australis*. 13, 5-15.
- Wang, Y., Xu, P., Nie, Z., Li, Q., Shao, N., e Xu, G., 2019. Growth, digestive enzymes activities, serum biochemical parameters and antioxidant status of juvenile genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) reared at different stocking densities in in-pond raceway recirculating culture system. *Aquaculture Research*. 50, 1338-1347. <https://doi.org/10.1111/are.14010>
- Wendelaar-Bonga, S. E., 1997. The stress response in fish. *Physiological Reviews*. 77, 591– 625. <https://doi.org/10.1152/physrev.1997.77.3.591>
- Williams, T. D., Readman, G. D., Owen, S. F., 2009. Questões-chave relativas ao enriquecimento ambiental para espécies de peixes mantidas em laboratório. *Animais de Laboratório*. 43, 107-120. <https://doi.org/10.1258/la.2007.007023>

Winberg, S. e Nilsson, G. E., 1993. Roles of brain monoamine neurotransmitters in agonistic behaviour and stress reactions, with particular reference to fish. *Comparative Biochemistry and Physiology*. 106, 597-614. [https://doi.org/10.1016/0742-8413\(93\)90216-8](https://doi.org/10.1016/0742-8413(93)90216-8)

Würbel, H., e Stauffacher, M., 1997. Age and weight at weaning affect corticosterone level and development of stereotypies in ICR-mice. *Animal Behaviour*. 53, 891-900. <https://doi.org/10.1006/anbe.1996.0424>

Zafar, A., Roni, M. A., Rana, M. e Nahid Akter, N., 2022. Growth, digestive enzyme activities, proximate composition and hemato-biochemical responses of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) reared at various stocking densities in a recirculatory aquaculture system. *Journal of Applied Aquaculture*. <https://doi.org/10.1080/10454438.2022.2102957>

Zaki, M. A. A., Alabssawy, A. N., Nour, A. E-A. M., El Basuini, M. F., Dawood, M. A. O., Alkahtani, S., Abdel-Daim, M. M., 2020. The impact of stocking density and dietary carbon sources on the growth, oxidative status and stress markers of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) reared under biofloc conditions. *Aquaculture Reports*. 16. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100282>

Zhang, Z., Xu, X., Wang, Y., Zhang, X., 2020. Effects of environmental enrichment on growth performance, aggressive behavior and stress-induced changes in cortisol release and neurogenesis of black rockfish *Sebastes schlegelii*. *Aquaculture* 528. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735483>.

Zhang, Z., Zhang, Xuemei, Li, Z., Zhang, Xiumei, 2019. Effects of different levels of environmental enrichment on the sheltering behaviors, brain development and cortisol levels of black rockfish *Sebastes schlegelii*. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 218 <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2019.06.006>

Zimmermann, E. W., Purchase, C. F., e Fleming, I. A., 2012. Reducing the incidence of net cage biting and the expression of escape-related behaviors in Atlantic cod (*Gadus morhua*) with feeding and cage enrichment. *Applied Animal Behaviour Science*. 141, 71-78. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2012.07.009>