

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

DIMENSIONAMENTO DE TANQUES DE TESTE DE INFLUÊNCIA DE GASES DISSOLVIDOS EM ÁGUA EM PEIXES NEOTROPICAIS

Carlos Barreira Martinez¹; Dieimys Santos Ribeiro²; Guilherme Ferraz³; André Luiz Morais Rennó⁴; Luiz Gustavo Martins Silva⁵; Andrey L. Fagundes de Castro⁶; Juliano Mafra Neves⁷ & Liandro da Rosa⁷

Abstract: Studies on hydroelectric power plants (HPPs) identify multiple potential factors that can result in serious and fatal injuries to fish, including collisions with structures and components and less obvious factors associated with water quality and composition, especially in relation to the presence of total dissolved gases (TDG). Variations in the concentration of these gases can trigger fish mortality events known as bubble disease. In order to assess the impact of gas supersaturation on fish, a variety of tests are required, taking into account the duration and frequency of exposure, which can be continuous or intermittent. In addition, it is crucial to consider the life stage and size of the fish. The approach of this proposal suggests carrying out these studies in controlled laboratory environments, allowing parameters such as temperature, pressure (swimming depth) and flow velocity to be fixed, while varying TDG concentrations. This article outlines a methodological roadmap for sizing test tanks in a field laboratory dedicated to investigating the effects of gaseous supersaturation on neotropical fish. In addition, a case study is presented which proposes two types of tanks for carrying out tests with fish from 20 to 500 mm in total length.

Keywords Impact on ichthyofauna, Gas supersaturation, testing apparatus, TDG.

Resumo: Os estudos sobre Usinas Hidrelétricas (UHE) identificam múltiplos fatores potenciais que podem resultar em lesões graves e fatais nos peixes que incluem colisões com estruturas e componentes e fatores menos óbvios associados à qualidade e composição da água, especialmente em relação à presença de gases totais dissolvidos (TDG). Variações na concentração desses gases podem desencadear eventos de mortalidade de peixes conhecidas como doença de bolhas. A fim de avaliar o impacto da supersaturação gasosa nos peixes, são necessários testes variados, considerando a duração e a frequência da exposição, que podem ser contínuas ou intermitentes. Além disso, é crucial considerar o estágio de vida e o tamanho dos peixes. A abordagem desta proposta sugere a realização desses estudos em ambientes controlados em laboratório, permitindo a fixação de parâmetros como temperatura, pressão (profundidade de nado) e velocidade do fluxo, enquanto se variam as concentrações de TDG. Este artigo delineia um roteiro metodológico para dimensionar os tanques de teste em um laboratório de campo dedicado à investigação dos efeitos da supersaturação gasosa em peixes neotropicals. Adicionalmente, é apresentado um estudo de caso que propõe dois tipos de tanques para realizar ensaios com peixes de 20 a 500 mm de comprimento total.

Palavras-Chave – Impacto sobre a ictiofauna, Supersaturação gasosa, aparatos de teste, TDG.

1 PPGEM /MPEH / UNIFEI &. PPGMEC / UFMG. Av. BPS, 1303. Itajubá / MG. e-mail: cmartines@unifei.edu.br;

2 PPPGEL / UNIFEI. Av. BPS, 1303. Itajubá / MG. e-mail: dieimys@unifei.edu.br;

3 HVEX. R. Ismael Pinto de Noronha, 86 / MG, Itajubá / MG. e-mail: hvexferraz@gmail.com;

4 UNIFEI. Av. BPS, 1303. Itajubá / MG. e-mail: andrerenno@unifei.edu.br;

5 Cientista G.P. em Ecohidráulica da ETH-Zurich / Suíça, e-mail: lumartins@ethz.ch;

6 DCNAT/ UFSJ. Pça Dom Helvécio, 74 Bairro Fábricas - São João del Rei – MG. e-mail: andreycastro@ufsj.edu.br

7 SINOP ENERGIA. Av. dos Flamboyants, 684, Jardim Botânico, Sinop/MT, CEP: 78.556-024.

e-mail: juliano.mafra@sinopenergia.com.br / liandro.rosa@sinopenergia.com.br.

INTRODUÇÃO

A crescente implementação de usinas hidrelétricas (UHE) ao longo das últimas décadas Zarfl *et al.* (2015), tem ocasionado a fragmentação dos rios e introduzido consideráveis alterações no meio ambiente. Tais mudanças têm sido associadas a eventos de mortalidade de peixes, Zarfl *et al.* (2015); Agostinho *et al.* (2012); Andrade *et al.* (2012); Deng *et al.* (2020) que impactam de forma bastante severa a imagem das empresas e causam diversas perdas econômicas. Os fenômenos mais evidentes estão relacionados a choques com estruturas e peças móveis, Silva *et al.* (2018), tais como rotores de turbinas, Loures *et al.* (2017) e Cada *et al.* (2006) e partes das comportas e elementos estruturais de vertedores como dissipadores e até mesmo defletores desgastados e com superfícies muito irregulares. Além disso, fatores menos aparentes à primeira vista estão associados à qualidade da água e à concentração de gases dissolvidos. Devido a variação da concentração desses gases na água, podem ocorrer eventos de mortandade de peixes. Este artigo descreve um protocolo metodológico para dimensionar os tanques de teste em um laboratório de campo destinado a investigar os efeitos da supersaturação gasosa sobre peixes neotropicais. O dimensionamento será focado em duas espécies de peixes, a saber i) Pintado (*ordem Siluriformes, Família Pimelodídeos. Espécie P. corruscans*); ii) Curimatá (*ordem Characiformes, Família Prochilodontidae, Espécie Prochilodus lineatus*).

MATERIAIS E MÉTODOS

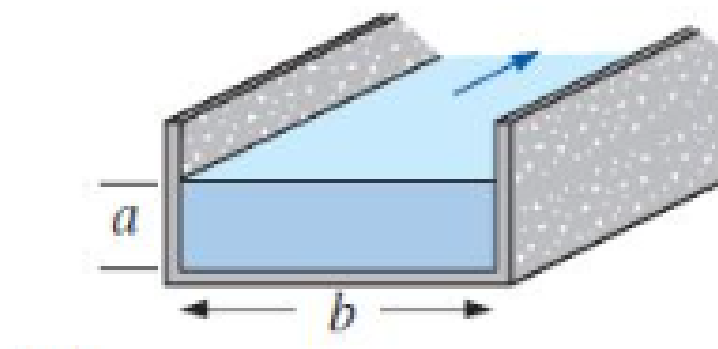
Para testar os efeitos da supersaturação gasosa em peixes, é essencial dimensionar tanques onde os peixes serão expostos a diferentes níveis de saturação gasosa. A premissa é manter o fluxo laminar nos tanques para minimizar a turbulência e reduzir a dissipação de gases, mantendo o Número de Reynolds (Re) abaixo de 2.000. (equação 1).

$$Re = \frac{V \times D_h}{\nu} \quad (1)$$

Onde: V: velocidade média na seção do tanque (m/s); Dh é o diâmetro hidráulico do tanque (m); ν viscosidade cinemática da água a 20° C é igual a 10^{-6} (m²/s).

O Diâmetro Hidráulico vai depender da seção de escoamento que no caso do tanque de teste pode ser considerada como a seção de um canal e que pode ser calculado pela equação 2 (ver Figura 1).

Figura 1 – Seção de canal de teste.



$$Dh = \frac{4 A}{P} \quad (2)$$

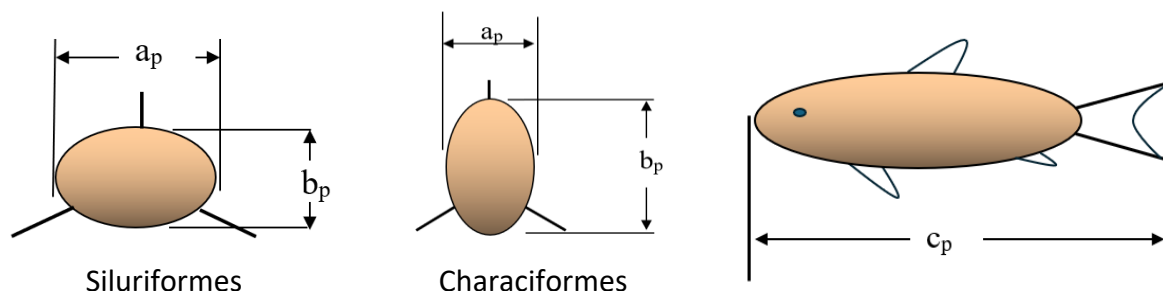
Onde: A é a área molhada da seção (m²) e P é o perímetro molhado (m).

Aplicando a altura de lâmina d'água do canal (a_c) e a largura do canal (b_c) à equação 2 se obtém a equação do diâmetro hidráulico (D_{hc}) de um canal (equação 3).

$$Dh_c = \frac{4a_c b_c}{2a_c + b_c} \quad (3)$$

A seção transversal do peixe pode ser obtida de forma simplificada a partir da aproximação por uma elipse (Figura 2). A partir da aplicação da equação da área e do perímetro da elipse pode-se chegar à equação 4 que representa aproximadamente o Diâmetro Hidráulico da seção do peixe (D_{Hp}).

Figura 2 – Dimensões dos peixes.



$$Dh_p = \frac{2a_p b_p}{\sqrt{\frac{a_p^2 + b_p^2}{2}}} \quad (4)$$

A vazão no tanque pode ser obtida a partir da equação da continuidade (eq.5) onde: Q é a vazão (m³/s); v é a velocidade (m), e; S é a seção transversal do escoamento (m²).

$$Q = v * S \quad (5)$$

O cálculo inicial do volume de água nos tanques (V_{tq}) será feito adotando-se a relação mínima de 1kg de massa viva (M_{vp}) para 16,5 litros de água (equação 6).

$$V_{tq} = 16,5 * M_{vp} \quad (6)$$

A relação adotada para projeto entre as dimensões do tanque (comprimento - C_{tq}; Largura L_{tq} e altura - A_{tq}) e as dimensões características dos indivíduos serão dadas pelas equações 7, 8 e 9.

$$C_{tq} = 1,3 * c_p \quad (7)$$

$$L_{tq} = 2,3 * c_p \quad (8)$$

$$A_{tq} = 2,4 * c_p \quad (9)$$

DIMENSIONAMENTO DOS TANQUES

Conforme apresentado anteriormente iremos focar o dimensionamento da seção de teste para as duas espécies de peixes, quais sejam: i) Pintado (Figura 3), e; Curimbatá (Figura 4).

Figura 3 – Diagrama das dimensões corporais relevantes no pintado *Pseudoplatystoma coruscans*.

Imagem <https://www.mundoecologia.com.br/animais/historia-do-peixe-pintado-e-origem-do-animal/> em 10/04/2024.

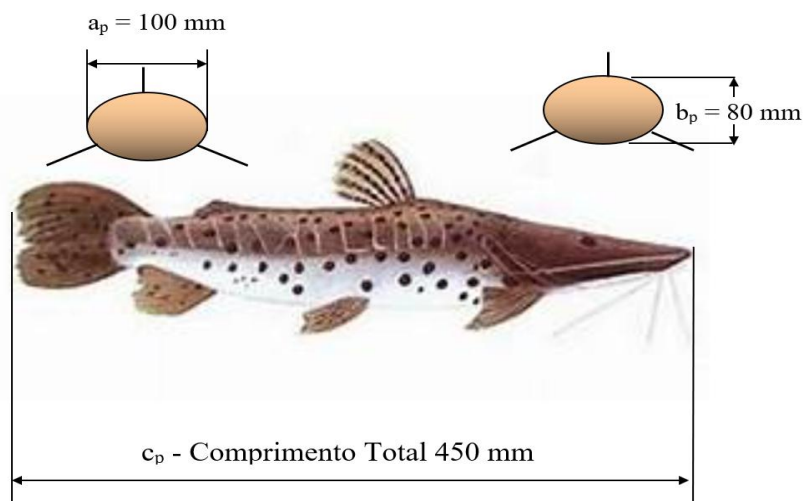
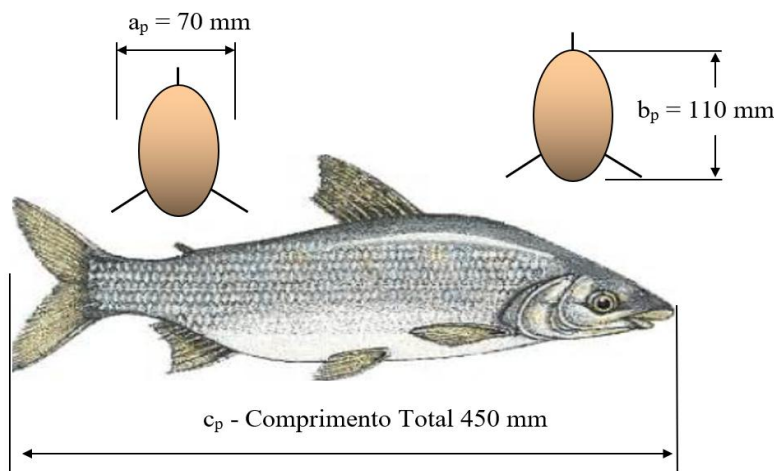


Figura 4 – Diagrama das dimensões corporais relevantes no Curimbatá (*Prochilodus lineatus*)

Imagem - <http://www.klimanaturali.org/2012/06/curimata-ou-curimba-prochilodus.html> - consulta em 10/04/2024



As dimensões dos indivíduos e, função do comprimento total foram obtidas por meio de medição direta em peixes disponíveis para comercialização no mercado, sendo obtidos de indivíduos já abatidos e de indivíduos vivos (em criadores). A Tabela 1 apresenta as principais dimensões necessárias para dimensionamento da seção de teste (tanques). Por uma questão de simplificação adotamos o mesmo peso para o cálculo com as duas espécies optando por utilizar nos cálculos os maiores valores independentemente de qual espécie se tratava.

Tabela 1 - Dimensões Características do peixe

Comprimento do peixe (mm)	Peso do peixe (kg)*	Pintado		Curimatá	
		a _p (largura)	b _p (altura)	a _p (largura)	b _p (altura)
500	3.00	110	90	80	125
400	1.54	90	70	60	100
300	0.65	65	55	45	75
200	0.19	45	35	20	50
100	0.05	25	18	15	25
50	0.01	12	8	8	10

* adotamos o mesmo peso para as duas espécies

Os tanques de teste terão formato retangular com dimensões que permitam a colocação de indivíduos para testes de exposição aguda e exposição crônica. Para isso será usada a relação de 1kg de massa viva (M_{vp}) para 16,5 litros de água (equação 6). As dimensões dos Tanques podem ser obtidas pelas equações 7, 8 e 9. As dimensões dos tanques estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Dimensões dos Tanques de teste

Peso peixe adotado (kg)	c _p - comprimento peixe (mm)	a _p - pintado (mm)*	b _p - curimba (mm)*	Volume do tanque (L)	C _{tq} (mm)	L _{tq} (mm)	A _{tq} (mm)	V _{tq} (L)
3.00	500	110	125	48.8	650	250	300	48.8
1.54	400	90	100	25,0	520	200	240	25.0
0.65	300	65	75	10.5	390	150	180	10.5
0.19	200	45	50	3.1	260	100	120	3.1
0.05	100	25	25	0.8	250	50	60	0.8
0.01	50	12	10	0.2	250	25	30	0.2

*maior dimensão entre as espécies

A Tabela 3 apresenta o cálculo da velocidade e vazão (equações 1, 2, 3 e 5) nos tanques tomando-se como premissa a manutenção de escoamento laminar dentro dos mesmos ($Re = 2000$).

Tabela 3 - Velocidade e vazão nos tanques de teste para escoamento laminar ($Re = 2.000$)

cp - comprimento do peixe (mm)	C _{tq} (mm)	L _{tq} (mm)	A _{tq} (mm)	Velocidade tanque (m/s)	Vazão no sistema (l/s)*
500	650	250	300	0.005	0.40
400	520	200	240	0.007	0.32
300	390	150	180	0.009	0.24
200	260	100	120	0.013	0.16
100	250	50	60	0.027	0.08
50	250	25	30	0.053	0.04

*vazão para tanque de teste individualizado

Para garantir que o escoamento ao longo dos indivíduos seja laminar fez-se a verificação do número de Reynolds (Re) dos peixes por meio da equação 1 e 4 (Tabela 4). É importante deixar registrado que nesse caso não foi feito o cálculo de aumento da velocidade de escoamento no tanque devido a inserção dos peixes na seção de teste com o consequente aumento de velocidade ao longo da linha dorsal do indivíduo.

Tabela 4 - Re dos peixes

cp - comprimento do peixe (mm)	Pintado		Curimba	
	RH	Re	RH	Re
500	0.0985	527	0.0976	522
400	0.0781	523	0.0750	502
300	0.0594	529	0.0563	502
200	0.0391	523	0.0286	382
100	0.0207	553	0.0188	502
50	0.0094	504	0.0089	475

Os volumes e vazão para cada grupo de 8 tanques de teste estão apresentados na tabela 5.

Tabela 5 – Volumes, vazão e tempo de reserva no Tanque de TDG

cp - comprimento do peixe (mm)	Volumes dos tanques (litros - L)				Tempo de reserva no gerador de TDG - 400L	
	Tanque individual (L)	8 tanques (L)	vazão individual tq (L/s)	vazão 8 tanques (L/s)	segundos	minutos
500	48.8	390	0.40	3.2	140	2
400	25,0	200	0.32	2.6	175	3
300	10.5	84	0.24	1.9	234	4
200	3.1	25	0.16	1.3	351	6
100	0.8	6	0.08	0.6	701	12
50	0.2	2	0.04	0.3	1,402	23

Por uma questão de simplificação optou-se por adotar duas classes de tanques de teste. Assim a primeira classe (Classe I) será destinada para indivíduos de até 200 mm de comprimento total e peso estimado de 190 gramas. A segunda classe (Classe II) de tanques pode receber indivíduos de até 3kg de peso e com até 500 mm de comprimento. Também será utilizado um vertedor localizado na saída dos tanques destinado a: i) manter o nível do tanque constante permitindo a manutenção do volume da seção de teste; ii) permitir a medição de vazão que passa pelo sistema. Para isso o vertedor triangular deve ser previamente calibrado. Devido a facilidade de manutenção e operação dos tanques optou-se por não usar algumas dimensões menores do que 150 mm (6 polegadas). Assim a largura do tanque Classe I foi fixada em 150 mm. O resultado obtido pode ser visualizado nas Figuras 5 e 6, observando-se o resumo apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Dimensões dos Tanques de teste por Classe

Classe Tq	c _p - comprimento peixe (mm)	peso do peixe (kg)	Dimensões dos tanques					
			C _{tq} (mm)	L _{tq} (mm)	A _{tq} (mm)	L _{borda livre} (mm)	L _{desc}	V _{tq} (L)
I	200	0.19	260	150	120	150	150	4.68
II	500	3.00	650	250	300		200	48.8

Figura 5 – Dimensões dos tanques de (observar a tabela 6)

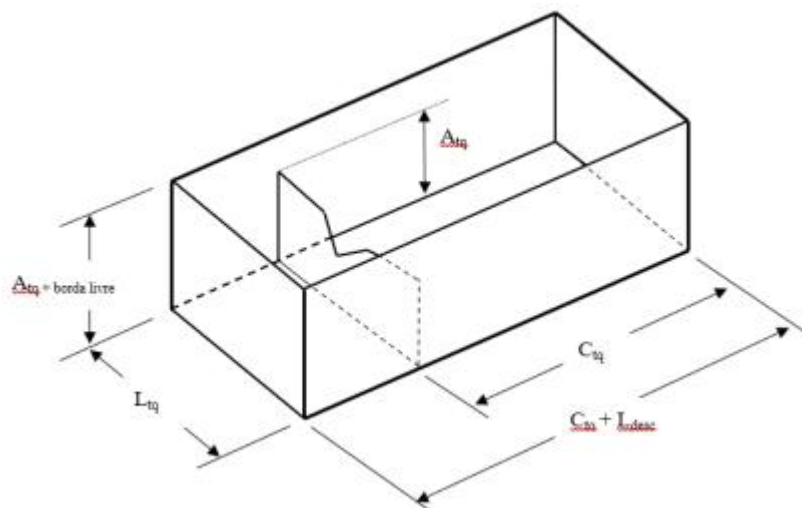
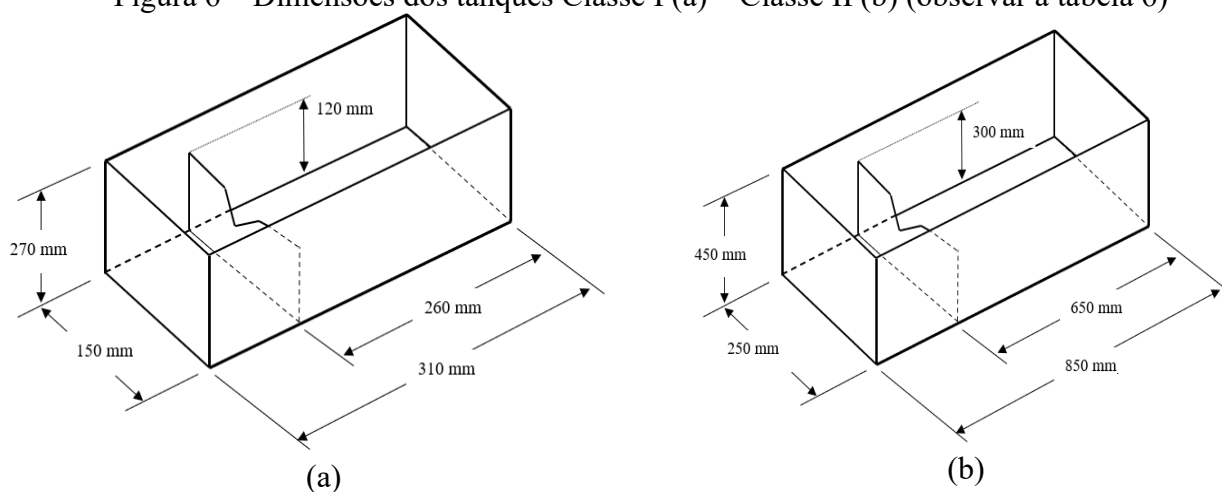


Figura 6 – Dimensões dos tanques Classe I (a) – Classe II (b) (observar a tabela 6)



CONCLUSÕES

Os tanques para testes dos efeitos de supersaturação gasosa sobre peixes neotropicais contemplaram duas espécies, quais seja: i) Pintado (ordem Siluriformes), e; ii) Curimatá (ordem Characiformes). A premissa de dimensionamento foi que o escoamento nos tanques ao longo dos indivíduos deveria ser do tipo laminar de forma a minimizar o efeito de diluição de ar por turbulência ($Re \leq 2.000$). Foram criadas duas Classes de tanques de teste. O Tanque Classe I (comprimento de tanque de 310 mm, largura 150 mm e altura 270 mm) para indivíduos de até 190 gramas com comprimento total de 200 mm. A Classe II para indivíduos de até 3.000 gramas e comprimento total de 500 mm (comprimento de tanque de 850 mm, largura 250 mm e altura 450 mm). Os tanques projetados têm acoplados um vertedor triangular destinado a manter o nível do reservatório constante permitindo a manutenção do volume da seção de teste e permitir a medição de vazão que passa pelo sistema.

AGRADECIMENTOS

Os autores manifestam seus agradecimentos à UNIFEI, UFMG, ANEEL, SINOP, FAPEMIG e CNPQ pelo suporte para realização desse trabalho.

REFERENCIAS

AGOSTINHO, A. A., D. C. ALVES, L. C. GOMES, R. M. DIAS, M. PETRERE JR & F. M. PELICICE, (2021). *“Fish die-off in river and reservoir: A review on anoxia and gas supersaturation.”* Neotropical Ichthyology, vol. 19 (3), 2021.

ANDRADE, F., I. G. PRADO, R. C. LOURES & A. L. GODINHO., (2012). *“Evaluation of techniques used to protect tailrace fishes during turbine maneuvers at Tres Marias Dam, Brazil.”* Neotropical Ichthyology, vol. 10 (4), pp. 723 - 730, 2012.

ČADA, G., LOAR, J., GARRISON, L. *et al.* (2006) *“Efforts to Reduce Mortality to Hydroelectric Turbine-Passed Fish: Locating and Quantifying Damaging Shear Stresses.”* Environmental Management, vol. 37, nº 6, p. 898–906, 2006.

DENG, Y., C. CAO, X. LIU, Q. YUAN, C. FENG, H. SHI, Y. YANG & Y. WU, (2020). *“Effect of Total Dissolved Gas Supersaturation on the Survival of Bighead Carp (Hypophthalmichthys Nobilis).”* Animals, vol. 10(1):166, 2020.

LOURES, R. C., GODINHO, L. A., ANDRADE, F. R., RÊGO, A. C. L., CARVALHO, M. R.; PRADO, I. G., ARAÚJO, Á. R., SILVA, T. T., RAONI, R.R. & RESENDE, L.C. (2017). *“Methodology for risk assessment of fish death at hydropower plants,” em Fish and Hydropower Plants - Chapter 2*, Belo Horizonte, Minas Gerais: CEMIG - PEIXE VIVO, 2017, p. 37 – 70.

SILVA, L. G. M., L. J. BAUMGARTNER, Z. D. DENG & H. P. FJELDSTAD, (2018). *“Hydropower development and fish management: a food-water-energy nexus requiring international and multidisciplinary approach,”* Marine and Freshwater Research, Vols. %1 de %269(12):I-Iii, 2018.

ZARFL, C., LUMSDON, A.E., BERLEKAMP, J. (2015). *“A global boom in hydropower dam construction.”* Aquat Sci, vol. 77, pp. 161 - 170, 2015.
