

ARTHUR HENRIQUE GOMES DE PINHO 10379756
HENRIQUE PIRES DE MORAES AQUINO 10772543
PEDRO LEONEL GIANNONI DE OLIVEIRA 10335569
MURILO MARCELINO BONO 10274565

**PROPOSTA DE PROJETO:
ANÁLISE DA MODELAGEM DA MECÂNICA DE
UM PEIXE ROBÓTICO**

São Paulo
1 de outubro de 2020

SUMÁRIO

1	Introdução	p. 1
2	Objetivos e Justificativa	p. 2
2.1	Objetivos	p. 2
2.2	Justificativa	p. 2
2.3	Restrições de Projeto	p. 2
3	Modelo Físico	p. 3
3.1	Bibliografia base	p. 3
3.2	Hipóteses simplificadoras	p. 4
3.3	Modelo proposto	p. 4
	Referências	p. 6

1 INTRODUÇÃO

“Trabalha com gosto e terá o gosto do trabalho.”

-- Benjamin Franklin

Em anos recentes, a fascinante abordagem robótica de comportamentos e movimentos biológicos têm sido cada vez mais explorada. Como um exemplo, observa-se o crescente desenvolvimento de animais biônicos pela empresa FESTO®, como o BionicKangaroo (GRAICHEN et al., 2015) e o AquaPenguin. Segundo a companhia, o estudo dos princípios da natureza traz inspiração e ideias para novas tecnologias e aplicações industriais.

Neste campo de estudo, destaca-se o foco dado a peixes e demais animais aquáticos, justificada pela motivação em se obter Veículos Não-Tripulados Subaquáticos (AUVs) com maior eficiência e manobrabilidade (YU; WANG, 2005). O estudo realizado por Duraisamy, Sidharthan e Santhanakrishnan (2019) apresenta um resumo dos principais aspectos e descobertas de pesquisas envolvendo o estudo de peixes robóticos.

Dentre as vertentes mais citadas no estudo dos peixes, encontra-se a capacidade de autopropulsão. Buscando, pois, compreender mais profundamente sua dinâmica, diversos pesquisadores se debruçaram sobre análises a respeito da modelagem e controle dos peixes robóticos e apresentaram, ainda, protótipos e dispositivos com características significativamente similares às encontradas na natureza (SHAO; WANG; YU, 2008; LIGHTHILL, 1960; KIM et al., 2008; VO et al., 2009), como o apresentado na Figure 1.1, desenvolvido por Malec, Morawski e Zajac (2010).

Figura 1.1: Protótipo de Peixe Robótico com Autopropulsão



fonte: Malec, Morawski e Zajac (2010)

2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

2.1 Objetivos

Dado o cenário apresentado, o presente trabalho tem por intenção: **desenvolver a modelagem dinâmica de um peixe robótico com capacidade de autopropulsão, dada uma entrada conhecida de um atuador**. Como objetivos secundários, espera-se verificar a estabilidade do sistema e analisar as respostas individuais de cada saída frente à diferentes entradas, por meio de funções de transferência e simulação computacional, além de colaborar para o avanço dos estudos já existentes.

2.2 Justificativa

O estudo da modelagem de um peixe robótico, além de se enquadrar como um projeto completo quanto ao estudo de modelagem, promove um avanço no estudo do desenvolvimento e otimização de tecnologia subaquática, sendo, pois, de grande interesse e importância para o Engenheiro Mecânico.

2.3 Restrições de Projeto

Dado o objetivo proposto, é necessário que o projeto se enquadre em determinadas restrições, as quais serão confirmadas ao final do projeto:

- Modelo físico proposto deve se adequar à necessidade de obtenção de um modelo matemático analítico, com uso de fundamentos da mecânica clássica como Teoremas de Newton e Equações de Lagrange-Euler.
- Visando já um futuro controle do sistema, deve-se obter um modelo físico estável por conveniência.

3 MODELO FÍSICO

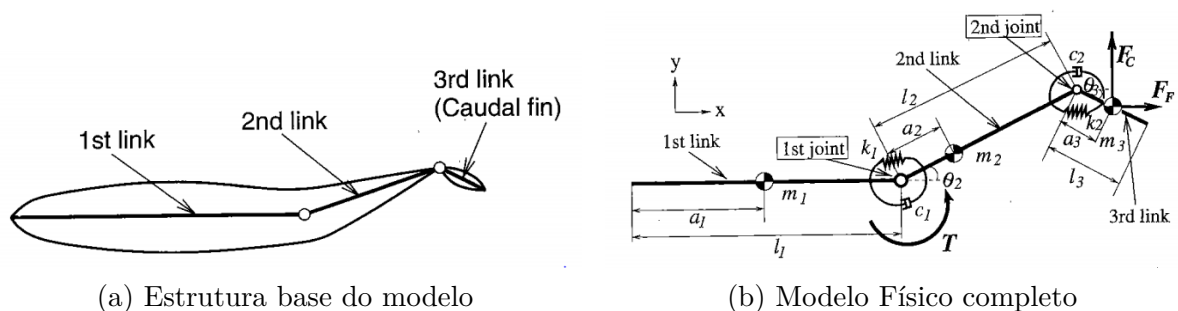
3.1 Bibliografia base

Frente a inúmeros estudos, já aqui apresentados, buscou-se identificar propostas que se aproximassem dos objetivos deste trabalho, a fim de se ter uma referência adequada para dar suporte ao projeto. Assim, despertou grande interesse o modelo físico e a abordagem sugerida por Nakashima, Ohgishi e Ono (2003).

O seu trabalho remete ao estudo do peixe carangiforme. Esta denominação trata-se de um dos tipos básicos de nado dos peixes apresentados por Duraisamy, Sidharthan e Santhanakrishnan (2019), o qual apresenta movimento oscilatório concentrado em 1/3 do corpo (parte traseira), sendo praticamente desprezível em sua parte dianteira. Além disso, este tipo de peixe dispõe do nado mais rápido, uma vez que tem pedúnculo caudal estreito e nadadeira caudal rígida, o que aumenta seu impulso e reduz as forças de resistência laterais.

Dadas tais características, Nakashima, Ohgishi e Ono (2003) propõem o estudo de um modelo de três barras rígidas com um único atuador, localizado entre a primeira e a segunda barra. Este modelo, apesar de simples, conta com uma abordagem completa do modelo, tratando de forças hidrodinâmicas responsivas ao movimento da cauda, como apresentado na Figure 3.1.

Figura 3.1: Modelo Físico Referência



fonte: Nakashima, Ohgishi e Ono (2003)

Seu estudo, contudo, limita-se à análise apenas das variáveis angulares das barras da cauda, o que despreza uma variável de grande importância: o deslocamento transversal do peixe (direção x da Figure 3.1b). A justificativa dada pelo autor, remete ao fato de que o sistema é considerado como dentro de um tanque com fluxo constante de água em sentido contrário ao do peixe. Dessa forma, o estudo aborda a movimentação e forças desempenhadas pelo sistema para que o peixe mantenha-se na mesma posição.

Esta abordagem, para fins de simplificação, também será abordada, porém serão ainda analisados os pequenos deslocamentos e velocidades transversais do peixe, que naturalmente não permanece constantemente imóvel. Assim, espera-se aprimorar o estudo tomado como referência.

3.2 Hipóteses simplificadoras

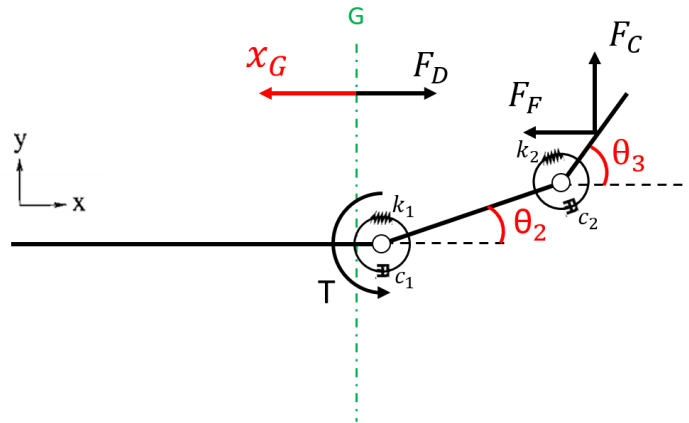
Baseando-se no modelo proposto por Nakashima, Ohgishi e Ono (2003), as seguintes hipóteses serão consideradas:

- Sistema composto por barras rígidas unidimensionais, de massa concentrada no centro de massa;
- Primeira barra sem movimento angular (oscilação em $\approx 1/3$ do corpo);
- Forças hidrodinâmicas de propulsão e lateral aplicadas apenas na nadadeira caudal;
- Força de arrasto (F_d) resistiva aplicada no centro de massa do sistema;
- Força de arrasto constante, dada variação muito baixa da velocidade transversal.
- Movimento no eixo z será desprezado (desprezados efeitos de gravidade e flutuação);
- Oscilações pequenas em torno do ponto de operação;
- Atuador com massa desprezível.

3.3 Modelo proposto

Dadas as hipóteses acima, obtém-se por fim um modelo físico, muito similar ao adotado na referência, porém com adição da análise do movimento transversal e aplicação de força de arrasto resistiva, como indicado na Figure 3.2.

Figura 3.2: Modelo Físico proposto



fonte: autoral.

O estudo de sua modelagem e dimensionamento será tratado em maiores detalhes nas próximas etapas deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- DURASAMY, P.; SIDHARTHAN, R. K.; SANTHANAKRISHNAN, M. N. Design, modeling, and control of biomimetic fish robot: A review. *Journal of Bionic Engineering*, Springer, v. 16, n. 6, p. 967–993, 2019.
- GRAICHEN, K. et al. Control design for a bionic kangaroo. *Control Engineering Practice*, Elsevier, v. 42, p. 106–117, 2015.
- KIM, H.-S. et al. A study on optimization of fish robot velocity using genetic algorithm. In: IEEE. *2008 International Conference on Smart Manufacturing Application*. [S.l.], 2008. p. 441–446.
- LIGHTHILL, M. Note on the swimming of slender fish. *Journal of fluid Mechanics*, Cambridge University Press, v. 9, n. 2, p. 305–317, 1960.
- MALEC, M.; MORAWSKI, M.; ZAJĄC, J. Fish-like swimming prototype of mobile underwater robot. *Journal of Automation Mobile Robotics and Intelligent Systems*, v. 4, p. 25–30, 2010.
- NAKASHIMA, M.; OHGISHI, N.; ONO, K. A study on the propulsive mechanism of a double jointed fish robot utilizing self-excitation control. *JSME International Journal Series C Mechanical Systems, Machine Elements and Manufacturing*, The Japan Society of Mechanical Engineers, v. 46, n. 3, p. 982–990, 2003.
- SHAO, J.; WANG, L.; YU, J. Development of an artificial fish-like robot and its application in cooperative transportation. *Control Engineering Practice*, Elsevier, v. 16, n. 5, p. 569–584, 2008.
- VO, T. Q. et al. A study on optimization of fish robot maximum velocity using the combination of genetic-hill climbing algorithm. In: IEEE. *2009 ICCAS-SICE*. [S.l.], 2009. p. 2280–2285.
- YU, J.; WANG, L. Parameter optimization of simplified propulsive model for biomimetic robot fish. In: IEEE. *Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation*. [S.l.], 2005. p. 3306–3311.