



Processos de identificação de parâmetros físicos para obtenção de modelo matemático de um veículo autônomo submarino

FELIPE LOURENÇO GALESKI¹; **ELMER A. GAMBOA PEÑALOZA²**; **SIGMAR DE LIMA³**

¹*Universidade Federal de Pelotas – felipe.galeski@ufpel.edu.br*

²*Universidade Federal de Pelotas – egamboa@usp.br*

³*Universidade federal de Pelotas – sigmar.lima@ufpel.edu.br*

1. INTRODUÇÃO

É de conhecimento público que desde 2008 a República Federativa do Brasil em conjunto com a República da França vem dedicando recursos para o Programa de Desenvolvimento de Submarinos (PROSUB). Em sua concepção o PROSUB tem a proposta inicial do desenvolvimento de quatro submarinos tripulados, sendo um deles de propulsão nuclear, representando um significativo avanço tecnológico ao país latino americano, pautado em capital intelectual e tecnológico (www.marinha.mil.br/prosub/).

O incentivo do desenvolvimento de tecnologias desta espécie em um país de grande potencial hidrográfico, como o Brasil, expandem os horizontes dos pensadores de uma nação. Sob este prisma o projeto apoiado pelo Grupo de Sistemas Inteligentes de Controle (GSIC) se inspira nesta proposta e vem sendo desenvolvido desde o início de 2020.

Este projeto visa estabelecer uma postura vanguardista na construção de veículos autônomos subaquáticos (AUV), introduzindo assim aos discentes do curso de graduação em Engenharia de Controle e Automação as possibilidades de observação e/ou atuação em ambientes submersos através de técnicas de controle aplicadas ao modelo apresentado neste trabalho. Desta forma obtendo uma base de conhecimento sobre a dinâmica dos AUV, necessária para a tomada de decisões na aplicação de estratégias de controle moderno.

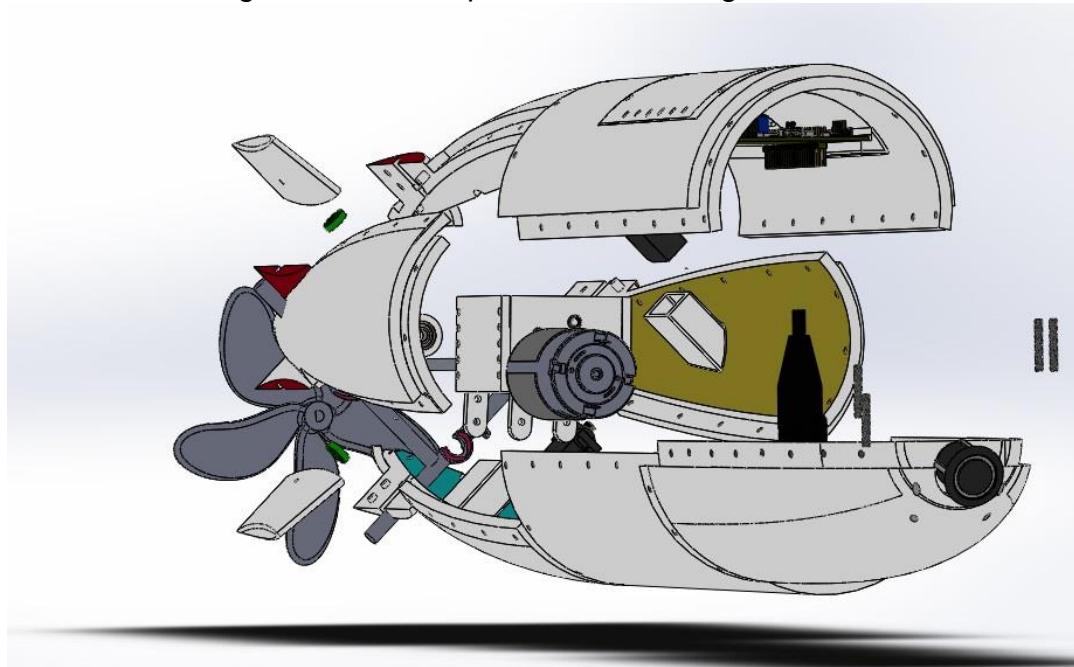
2. METODOLOGIA

Sob o ponto de vista da modelagem dinâmica, segundo RENILSON, M. (2018), veículos submarinos tem *design* e controle particularmente complexos, já que possuem 6 graus de liberdade (3 rotacionais e 3 espaciais). Por conseguinte o denso levantamento bibliográfico baseou-se na fundamentação física e matemática da fluido dinâmica de veículos submarinos já desenvolvidos, como o veículo desenvolvido na Universidade Federal de Rio Grande por DREWS, L. P. (2005).

Somado ao levantamento bibliográfico e as escolhas de projeto priorizando a hidrodinâmica, foram escolhidos os componentes sensores & atuadores e o design do modelo foi implementado através do software SolidWorks®. Após o desenho de suas formas geométricas básicas, peças de cunho funcionais foram talhadas a partir destes, em seguida superfícies de embasamento e ressaltos, como encaixes do motor de propulsão principal, cavidades destinadas aos servo mecanismos, baterias e sensores foram extrudados das peças base.

Por conseguinte foram idealizadas estruturas funcionais, como a caixa de redução, lemes de configuração pouco ortodoxa, a hélice propulsora e por fim foram finalizadas as estruturas de isolamento e as cavidades dos anéis retentores. Uma imagem geral das estruturas desenvolvidas pode ser observada na Figura 1.

Figura 1: Vista ‘explodida’ da montagem do AUV



Fonte: Autor. Executada em Software SolidWorks®

Uma vez obtidos os resultados da fase de projeto, foi gerado o algoritmo em linguagem G equivalente as peças desenhadas. O código foi transferido à prototipadora *Ender® 3* disponibilizada para o projeto para que uma matriz de testes fosse construída para o angariamento de parâmetros.

Partindo dos modelos matemáticos compatíveis com a configuração de lemes em X, compilados por RENILSON, M. (2018) e ZHANG, Y. (2017), foram obtidos os parâmetros necessários construir as equações que descrevem a dinâmica.

A obtenção do coeficiente η (razão de rotação da hélice e velocidade de propulsão) foi realizada através da avaliação da velocidade da hélice em momentos distintos, medidas por um sensor tacômetro em conjunto com uma balança de precisão. Ao obter os pontos relacionando velocidade de rotação e “massa” marcada pela balança, foi possível traçar uma curva mostrando a força peso, que através da equação do arrasto pode ser convertida em uma curva relacionando a rotação de hélice com a velocidade através do fluxo fluídico.

A correção do centro de massa foi feita através da alocação estratégica de esferas de chumbo em ponto determinado, afim de garantir a estabilidade do corpo e consequentemente controle ao manipula-lo através dos tanques de lastro.

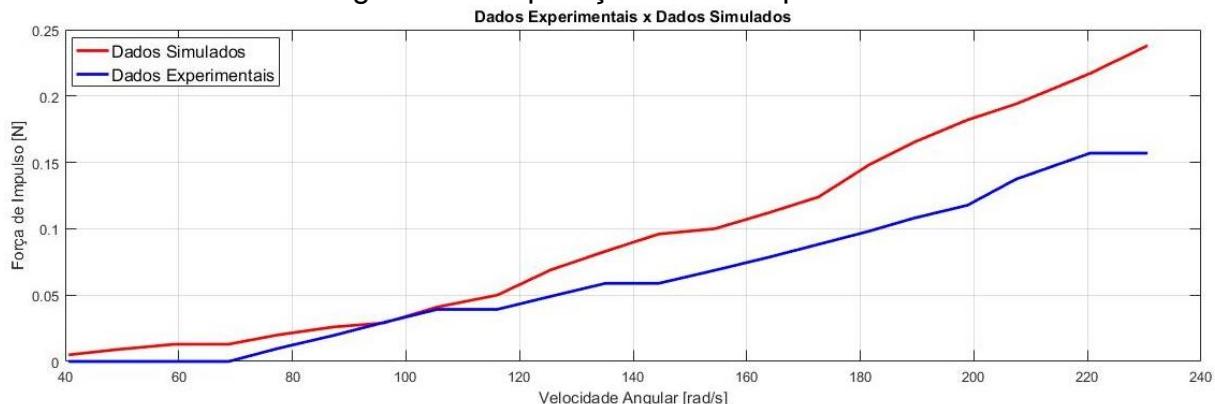
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um dos principais resultados do trabalho pode ser observado na Figura 1. Nesta Figura se apresentam as peças que compõe o corpo do AUV e que foram desenvolvidas através do treinamento contínuo do discente envolvido no trabalho, o qual conseguiu atingir alto grau de realismo e domínio da ferramenta SolidWorks®. Neste sentido, sob a luz da inspiração da obra de Echiro Oda, este protótipo inicial foi batizado de Fisher Tiger.



As curvas obtidas através de métodos computacionais –*Flow Simulation®* de simulação, assim como a curva obtida de forma experimental, as quais relacionam a velocidade de rotação e a força gerada pela hélice propulsora pode ser vista na Figura 2.

Figura 2: Comparação dados experimentais



Fonte: Autor. Executada em Software Matlab®

É fato que para o fim do processo de povoamento do modelo matemático, ainda faz-se necessário alguns coeficientes que relacionam forças de maneira tridimensional e o ângulo dos lemes. Estes dados só poderão ser obtidos a partir de testes em meio aquoso, após a instrumentação total do protótipo, que apesar de orçada, fez-se necessária a diluição temporal das compras, afim de gerenciar o capital disponível.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos servem como base de conhecimento para a elaboração de algoritmos de controle de velocidade e controle de profundidade. A manipulação do centro de massa do submarino através dos tanques de lastro e por consequência a inclinação do corpo é fruto da compreensão da dinâmica e controle dos servomecanismos, que nesta etapa beira a conclusão.

Para superar os desafios que tangenciam o controle tridimensional total do corpo através da combinação dos lemes, motor e tanques de lastro, testes em meio aquoso serão realizados para determinar a capacidade de manejo, juntamente com técnicas matemáticas como *pseudoinverse & fixed point iteration* afim de determinar certos coeficientes adimensionais.

Em síntese é possível afirmar que o trabalho em desenvolvimento vem agregando expectativas sob o AUV Fisher Tiger. Afinal, é fato que suas implicações se tornarão visíveis a partir do momento da entrega da versão final construída e modelada matematicamente ao laboratório principal do curso, onde ficará disponível como uma plataforma de testes regravável para técnicas de controle modernos, análise de aquisição de dados, reafirmação de teorias de controle, que promoverá o engrandecimento dos futuros profissionais no ramo de controle e automação, além da expansão das áreas de atuação da universidade como um todo.



5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Livro

RENILSON, M. **Submarine Hydrodynamics**. Launceston, Tasmania – Australia: Springer. 2018. 2v

MOLLAND, Anthony F.; TURNOCK, Stephen R. **Marine rudders and control surfaces: principles, data, design and applications**. Elsevier, 2011. 1v

Artigo

ZHANG, Y.; Li, Y.; Zhang, G.; Zeng, J.; Wan, L.; Design of X-rudder autonomous underwater vehicle's quadruple-rudder allocation with Levy flight character. **INTERACIONAL JOURNAL OF ADVANCED ROBOTIC SYSTEMS**. Sage Publishing (online). v.14, n.6, p.1-5, 2017

SUASTIKA, K.; VIRLIANI, P.; WASIS, D. A. Submarine rudder stern-plane configuration for optimum manoeuvring. In **MATEC Web of Conferences**. EDP Sciences. v.177, n.? p.1-10, 2018

GOMES, C. P. S; MORAES, E. M. C; DREWS, L. P; MOREIRA, G. T. **UNDERWATER VEHICLE DYNAMIC MODELING - 18th International Congress of Mechanical Engineering** - Ouro Preto, Brasil. v.18, n.?, p.1-9, 2005