

## Escoamentos externos: influência da turbulência na estabilidade e manobrabilidade de veículos submarinos autônomos – uma análise numérica.

Gustavo da Silva Costa (Doutorando - MCTI), [gustavocosta77@gmail.com](mailto:gustavocosta77@gmail.com);

Ivan Costa da Cunha Lima (Orientador - MCTI), [ivandacunhalima@gmail.com](mailto:ivandacunhalima@gmail.com);

André Telles da Cunha Lima (Coorientador - UFBA), [atcl@ymail.com](mailto:atcl@ymail.com)

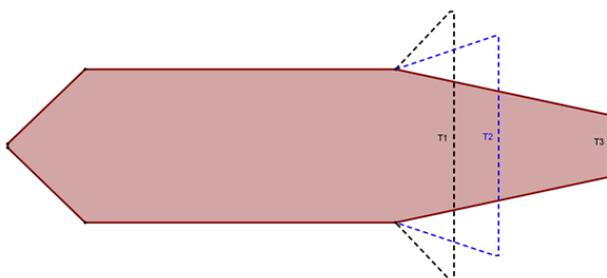
Faculdade SENAI CIMATEC

Palavras Chave: *turbulência, OpenFOAM, estabilidade, manobrabilidade, AUV, simulações.*

### Introdução

As análises em Dinâmica de Fluidos, especialmente a partir de resoluções das equações de Navier-Stokes [5], se tornaram viáveis com o desenvolvimento tecnológico da computação de alto desempenho. Não sendo ainda possível resolver tal equação de maneira analítica, métodos numéricos são aplicados para obtenção de respostas para problemas regidos por equações desse nível de complexidade – para este trabalho, as equações de Navier-Stokes são resolvidas numericamente através da plataforma *open source* OpenFOAM, que utiliza o Método dos Volumes Finitos (MVF) [2] em suas estruturas internas.

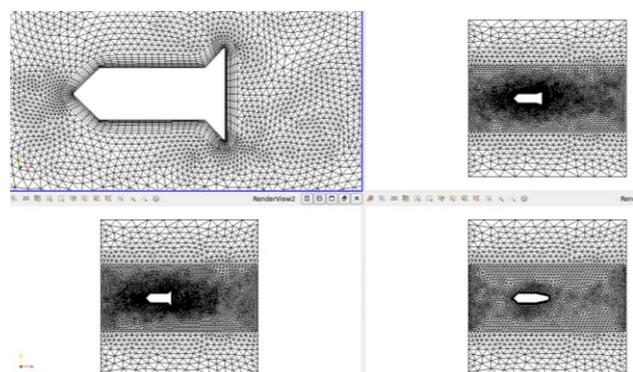
O trabalho, *a priori*, consiste em observar as componentes hidrodinâmicas [3] exercidas sobre três modelos simplificados de veículo submarino autônomo (VSA) em duas dimensões (vide figura 1) quando estes estão submetidos à corrente marítima. Essas medidas de *drag*, *lift* e torque são utilizadas para avaliar a estabilidade e a manobrabilidade do VSA quando sua posição varia em pequenos ângulos (correções de curso) em relação à corrente.



**Figura 1.** Modelos 2D de VSA. Perímetro (igual para os três) 1,13m. Áreas (em m<sup>2</sup>): T1 = 0,445; T2 = 0,491; T3 = 0,516.

### Métodos e Resultados parciais

Na construção das simulações, a plataforma OpenFOAM permite ao usuário uma grande possibilidade de customização de parâmetros, tornando a simulação mais próxima do real quanto desejável. Na observação da influência da turbulência na estabilidade e manobrabilidade do modelo de VSA, o modelo LES (*Large Eddy Simuations*) foi o escolhido em primeira instância. Uma solução transiente foi verificada a partir do *solver* pisoFoam (nativo da biblioteca OpenFOAM) [1], quando as equações de continuidade e de Navier-Stokes são resolvidas pelo MVF. Para tal, um *mesh* de pontos (vide figura 2) foi criado usando o software comercial HyperMesh a fim de discretizarmos o volume de controle.



**Figura 2.** Imagens de malhas dos modelos de VSA.

As equações utilizadas para as simulações e cálculos dos coeficientes hidrodinâmicos são:

$$\rho \frac{D\vec{u}}{Dt} = \vec{f} - \nabla p + \mu \Delta \vec{u} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{u}) = 0 \quad (2)$$

Nas equações (1) de Navier-Stokes, e (2) de continuidade,  $\rho$  representa a densidade,  $\vec{u}$  o vetor velocidade,  $p$  a pressão,  $\mu$  a viscosidade e  $\vec{f}$  força externa.

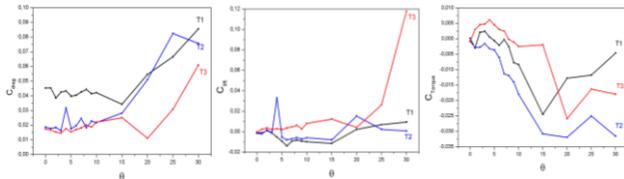
$$C_D = 2 \frac{D}{\rho U^2 A} \quad (3)$$

$$C_L = 2 \frac{L}{\rho U^2 A} \quad (4)$$

$$C_T = 2 \frac{T}{\rho U^2 l A} \quad (5)$$

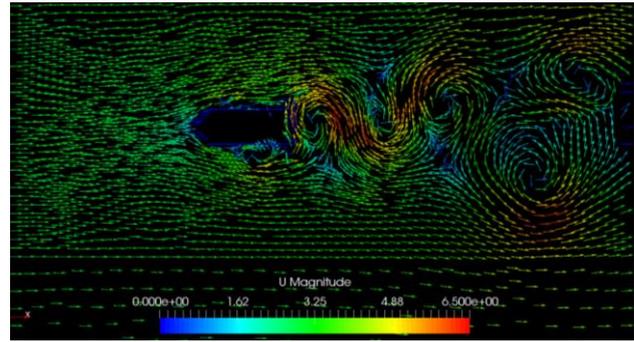
Nas equações (3), (4) e (5), respectivamente dos coeficientes de *drag*, *lift* e torque,  $D$  é a força de *drag*,  $L$ , a força de *lift*,  $T$ , o torque,  $\rho$  a densidade do fluido,  $U$  o módulo da velocidade,  $A$  a área do modelo e  $l$  seu comprimento.

Como resultados parciais, foram obtidos valores para os coeficientes  $C_D$ ,  $C_L$  e  $C_T$  para quinze diferentes ângulos de ataque (ângulo entre o eixo proa-popa e a corrente) conforme gráficos da figura 3.



**Figura 3.** Gráficos dos coeficientes de *drag*, *lift* e torque para quinze ângulos de ataque para os três modelos de VSA.

Outra observação importante aferida a partir das simulações foi a alta incidência de turbulência no escoamento. Era esperado obter um fluxo turbulento a partir de um indutor de vorticidade inserido num escoamento de um fluido incompressível [4], mas os vórtices gerados e a turbulência em si aparentam, em primeira análise, apresentar um comportamento cíclico e oscilatório, indicando uma presença de frequências naturais que variam com a geometria do modelo. A importância da geometria do modelo tem nos indicado também, não somente para a influência do formato de “cauda de peixe” para a geração de vórtices, mas também para o incremento de estabilidade do VSA, acarretando por consequência um aumento da força de *drag*, exigindo maior potência do motor para o movimento.



**Figura 4.** Imagem do detalhamento vetorial do campo de velocidades ( $U$ ) em fluxo através do modelo T1 de VSA com ângulo de ataque de  $0^\circ$ , formação turbulenta de vórtices em região posterior.

## Conclusões

Neste trabalho foram simulados três escoamentos externos de um fluido incompressível assemelhado em suas características à água salgada em profundidade atravessando modelos 2D de VSA com formato de “cauda de peixe”. Foram verificadas significativas influências do tamanho e formato da cauda dos modelos nas componentes hidrodinâmicas de *drag*, *lift* e torque, nos levando à conclusão que o aumento dessa cauda traz maior estabilidade e consequente capacidade de manobra ao modelo, porém entregando também maior força de arrasto, o que implica em necessidade de maior potência para o movimento. Entre outros fatores, a turbulência gerada no escoamento também despertou grande interesse investigativo e os resultados indicam que sua presença da maneira oscilatória e marcante podem ter grande interferência no regime transiente de grande variabilidade obtido e nos padrões de oscilação das componentes hidrodinâmicas calculadas. Sem dúvida, abre espaço para aprofundamento das pesquisas e estudo aprofundado da Dinâmica dos Fluidos.

## Referências

- <sup>1</sup>GREENSHIELDS, C. J. **OpenFOAM-the open source CFD toolbox user guide**. Version, v. 3, n. 0, p. 9, 2015.
- <sup>2</sup>MALISKA, C. R. **Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional**. LTC – Grupo GEN, 2004.
- <sup>3</sup>MANSOORZADEH, S; JAVANMARD, E. **An investigation of free surface effects on drag and lift coefficients of an autonomous underwater vehicle (AUV) using computational and experimental fluid dynamics methods**. Journal of Fluids and Structures, v. 51, p. 161-171, 2014.
- <sup>4</sup>PATIL, P. P.; TIWARI, S. **Effect of blockage ratio on wake transition for flow past square cylinder**. Fluid Dynamics Research, v. 40, n. 11, p. 753-778, 2008.
- <sup>5</sup>SCHLICHTING, H.; GERSTEN, K. **Boundary-layer theory**. Springer Science & Business Media, 2003.