

12º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

ANÁLISE INTEGRADA ENTRE OS SOFTWARES OPENFOAM E MAXSURF PARA APLICAÇÃO EM PROJETOS NAVAIS

AUTORES:

Kaylane de Sousa Silva, Damasio Alves de Lima Júnior, Iris Caroline dos Santos Rodrigues, Antônio Roniel Marques de Sousa, Iago Ranieri Miranda Rodrigues Morais, Wellington da Silva Fonseca

INSTITUIÇÃO:

Instituto de Tecnologia (ITEC), Universidade Federal do Pará (UFPA), Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia (CEAMAZON)

ANÁLISE INTEGRADA ENTRE OS SOFTWARES OPENFOAM E MAXSURF PARA APLICAÇÃO EM PROJETOS NAVAIS

Resumo

A região Amazônica possui uma vasta rede de bacias hidrográficas, com um dos maiores potenciais hídricos do planeta, o que torna o transporte fluvial o principal meio de escoamento nesta região. No atual cenário de transição energética, as discussões sobre o uso racional e a redução de recursos estão se tornando cada vez mais frequentes. Diante desse cenário, a simulação computacional emerge como uma ferramenta essencial para acelerar o processo de desenvolvimento de diferentes modais, pois permite a criação de modelos e testes que auxiliam na redução de custos e melhorias na eficiência antes do processo de produção. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise comparativa entre dois softwares de simulação computacional OpenFOAM e o MAXSURF com aplicação em projetos para o desenvolvimento de pequenas embarcações, voltadas para a região amazônica. Ambos os softwares foram utilizados para o estudo das ondas geradas por uma embarcação, característica que impacta diretamente a segurança da navegação, além de contribuir na prevenção da erosão das margens dos rios e reduzir riscos de acidentes. O OpenFOAM, ferramenta de simulação de fluidos que se utiliza do Método de Volumes Finitos, foi utilizado para análise do comportamento de fluidos, simulando as interações entre o ar, água e a embarcação. Enquanto, no software Maxsurf foram realizadas as simulações para análise da forma do casco, estudo de ondas, estimativa precisa da resistência ao avanço em diferentes regimes de velocidade e até mesmo a potência necessária para o motor. Os resultados apresentados pelas simulações computacionais, demonstram a potencialidade do uso de ferramentas como o OpenFOAM e o MAXSURF, para otimização das embarcações. O OpenFOAM, com seu código aberto e versatilidade na simulação de fluidos, e o MAXSURF, com sua especificidade e robustez na indústria naval, oferecem recursos vitais para o desenvolvimento de embarcações mais eficientes e adaptadas às condições da região.

Palavras-chave: Transporte fluvial, Simulação computacional, OpenFOAM, MAXSURF.

Abstract

The Amazon region has a vast network of river basins, with one of the greatest water potentials on the planet, which makes river transportation the main means of transport in this region. In the current energy transition scenario, discussions about the rational use and reduction of resources are becoming increasingly frequent. Given this scenario, computer simulation has emerged as an essential tool for speeding up the process of developing different modes, as it allows for the creation of models and tests that help to reduce costs and improve efficiency before the production process. In this context, the aim of this paper is to carry out a comparative analysis of the two computer simulation softwares OpenFOAM and MAXSURF, with application to projects for the development of small boats for the Amazon region. Both softwares were used to study the waves generated by a boat, a characteristic that directly impacts navigation safety, as well as helping to prevent erosion of river banks and reduce the risk of accidents. OpenFOAM, a fluid simulation tool that uses the Finite Volume Method, was used to analyze fluid behavior, simulating the interactions between air, water and the boat. Meanwhile, the Maxsurf software was used to carry out simulations to analyze the shape of the hull, study waves, accurately estimate the resistance to advancement at different speeds and even the power required for the engine. The results presented by the computer simulations demonstrate the potential of using tools such as OpenFOAM and MAXSURF to optimize vessels. OpenFOAM, with its open source code and versatility in fluid simulation, and MAXSURF, with its specificity and robustness in the naval industry, offer vital resources for the development of more efficient vessels adapted to local conditions.

Keywords: River transport, Computational simulation, OpenFOAM, MAXSURF.

Introdução

O sistema de transporte aquaviário consiste em um dos modais mais importantes para a logística e economia de um país, em virtude de movimentar cargas e, também, passageiros diferentes pontos. Ademais, segundo Polyana(2021) esse modal possui baixo custo logístico para movimentação em comparação aos modais de transportes terrestres e aéreos. Nesse sentido, a região Amazônica possui uma vasta rede de bacias hidrográficas, com um dos maiores potenciais hídricos do planeta, o que torna o transporte fluvial o principal meio de escoamento nesta região (Nunes, 2022), mas também traz à tona preocupações quanto à manutenção desse ecossistema. Nesse contexto, no atual cenário de transição energética, as discussões sobre o uso racional e a redução de recursos estão se tornando cada vez mais frequentes.

Entre os impactos gerados no meio, destaca-se a dissipação energética, resultante das ondas geradas pelas embarcações, as quais podem causar impactos ambientais, afetar a segurança da navegação, principalmente em zonas de águas restritas como canais ou rios, além de interagir com banhistas e embarcações menores, causando riscos de acidentes (Soares et al., 2023). Nesse contexto, o estudo de ondas geradas é um importante fator a ser considerado para avaliar os impactos do uso de embarcações na região amazônica. Dessa maneira, a simulação computacional emerge como uma ferramenta essencial para acelerar o processo de desenvolvimento de diferentes modais, pois permite a criação de modelos e testes que auxiliam na redução de custos e melhorias na eficiência antes do processo de produção, além de facilitar na visualização de cenários mais complexos e dos fenômenos físicos relacionados (Lima Júnior et al., 2023).

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise comparativa entre dois softwares de simulação computacional OpenFOAM, um software livre, e o MAXSURF, uma ferramenta paga, com aplicação em projetos para o desenvolvimento de pequenas embarcações elétricas voltadas para a região amazônica. Ambos os softwares foram utilizados para o estudo das ondas geradas por uma embarcação, o que tornou possível analisar a interação tanto dos fluidos quanto da estrutura da embarcação com os mesmos.

O OpenFOAM, é uma ferramenta de simulação para a resolução de problemas de continuidade e CFD (*Computational Fluid Dynamics*) que se utiliza do Método de Volumes Finitos, já consolidado no meio científico, para a solução de problemas de escoamento (Fonseca et al., 2021). Neste trabalho, foi utilizado para análise do comportamento de fluidos, simulando as interações entre o ar, água e a embarcação, assim como pode ser visto no trabalho de Bispo, Marques e Souza (2022) utilizando porém uma interação fluido-estrutura. Enquanto no software Maxsurf, ferramenta robusta voltada especificamente para a indústria naval, foram realizadas as simulações para análise da forma do casco, estudo de ondas e estimativa precisa da resistência ao avanço em diferentes regimes de velocidade e até mesmo a potência necessária para o motor, a partir do método de Savitsky (Bentley, 2024).

Os Softwares MAXSURF e o OpenFOAM demonstram potencialidade para o uso de simulações na otimização de embarcações. O OpenFOAM, com seu código aberto e versatilidade na simulação de fluidos, e o MAXSURF, com sua especificidade e robustez na indústria naval, oferecem recursos indispensáveis para o desenvolvimento de embarcações mais eficientes e adaptadas às condições da região. Além disso, os dois Softwares mencionados anteriormente, podem ser utilizados em junção, pois possuem resultados complementares, como exemplo, o OpenFOAM consegue obter a interação do ar com a embarcação, enquanto o Maxsurf Resistance ainda não fornece esse resultado, porém, é

capaz de fornecer dados precisos referentes à resistência ao avanço e até mesmo fornecer gráficos, (Bentley, 2024).

Assim, a integração dessas tecnologias não só colabora para o desenvolvimento e adaptação de embarcações eletrificadas, em um contexto de transição energética, mas também na promoção da redução de custos e melhoria da eficiência dessas embarcações, contribuindo significativamente para a sustentabilidade e o progresso tecnológico na Amazônia.

Metodologia

Modelo de embarcação utilizado

A modelagem do casco da embarcação foi realizada a partir da coleta manual de dados de um modelo tradicional da região Amazônica, localizado na Universidade Federal do Pará (UFPA), Campus Universitário do Guamá, especificados na Tabela 1. Posteriormente foi feita a modelagem no software Rhinoceros, conforme apresentado na figura 1, e em seguida exportado para os Softwares Maxsurf e OpenFOAM.

Tabela 1. Dimensões da Embarcação

Dimensão	Medida
Comprimento	4,5 m
Largura	1,36 m
Altura	0,4 m

Fonte: Autores (2024)

Figura 1. a) Casco da Embarcação; b) Casco da Embarcação Renderizada.

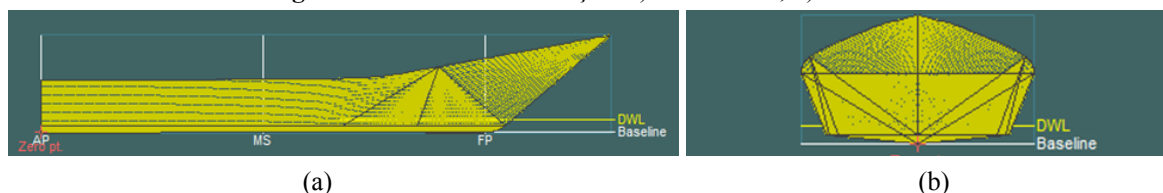


Fonte: Autores (2024)

Software Maxsurf

Após a criação da malha no Rhinoceros, o modelo 3D foi importado para o software Maxsurf Modeler, como apresentado na Fig. 2 para a determinação de suas características hidrostáticas e posterior importação do arquivo para o software Maxsurf Resistance.

Figura 2. Casco da Embarcação: a) vista lateral; b) vista frontal



Fonte: Autores (2024)

O software Maxsurf Resistance é um recurso que pode ser utilizado para prever o padrão de ondas de uma embarcação, além de fornecer a curva de resistência ao avanço de um casco de navio em uma gama de velocidades. Dentre as constantes existentes, duas se destacam: o número de Reynolds e o número de Froude, definidos na Eq. (1) e Eq. (2). De acordo com Iervolino (2015), o número de Reynolds pode ser associado à resistência friccional, enquanto o número de Froude pode ser associado à resistência de ondas da embarcação, pois o comprimento das ondas varia com a velocidade do navio.

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{gL}} \quad (1)$$

$$Rn = \frac{\rho V L}{\mu} = \frac{VL}{\nu} \quad (2)$$

Onde: Fn é o número de Froude, Rn é o número de Reynolds, V é a velocidade de avanço do casco em [m/s], g é a aceleração da gravidade em [m/s²], L é o Comprimento da Embarcação [m], ρ é densidade da água (kg/m³), μ é a viscosidade e ν é a viscosidade cinemática.

Além disso, o calado utilizado foi de 0,1m, a fim de realizar a simulação da resistência ao avanço do casco e do formato de ondas. Durante as simulações, foram aplicados os métodos de Savitsky pré-planeio e Savitsky planeio, recursos disponíveis no software para cascos de planeio disponíveis no software. Esses métodos permitiram uma análise abrangente do arrasto hidrodinâmico em diferentes regimes de velocidade, contribuindo para a compreensão do desempenho da embarcação em condições diversas.

Software foam-extend

Para a simulação de escoamento tanto do ar quanto da água utilizou-se o software foam-extend 3.2, uma versão similar do OpenFOAM (*Open Field Operation and Manipulation*), porém com solvers para a solução de FSI (*Fluid Structure Interaction*). A escolha deste software foi feita considerando sua consolidação no meio científico em soluções de problemas de embarcação (Irannezhad, 2016 e Bispo, Marques e Sousa, 2020).

O escoamento de fluidos newtonianos pode ser descrito pelas equações de Navier Stokes, assim como pela equação do momentum (Sousa et al., 2023) para fluidos incompressíveis, onde é possível ver a influência de parâmetros físicos do próprio fluido, como pode ser observado nas Eq. 3 e Eq. 4.

$$\frac{DU}{Dt} = \frac{-\nabla \nabla p}{\rho} + \nu \nabla^2 U + \rho g \quad (3)$$

$$\nabla \cdot U = 0 \quad (4)$$

Onde U representa a velocidade, em (m/s), p representa a pressão, enquanto que ρ e ν, são a densidade e viscosidade cinemática, do fluido respectivamente.

Por se tratar de um escoamento bifásico, para a solução do problema foi utilizado o método de Volume of Fluid (VOF), para realizar as equações. Este método, vem sendo usado desde o século XX para análise das condições de contorno de fronteiras livres, assim como pode ser visto no trabalho de Hirt e Nichols (1979), mostrando desta forma a versatilidade do mesmo, utilizando para isso cálculos baseados em frações de volume.

Enquanto para a análise da interação entre fluido e estrutura, utilizou-se o método conhecido como *Immersed Boundary Method* (IBM), apresentado por Peskin (1977). Para a realização deste método é necessário dividir a simulação em duas malhas, sendo a primeira uma malha cartesiana hexaédrica padrão, enquanto a segunda representa uma malha de superfícies representando a geometria das

estruturas que estão sendo analisadas (Irannezhad, 2016), mostrando-se apropriada para resolução do problema de embarcação.

Para as simulações do foam-extend, este método foi implementado dividindo a geometria analisada, em três tipos de células, sendo elas células mortas, representando os sólidos, células vivas, representando o fluido, e células de Ib, para a região de transição (Favier et al., 2016). Devido a esta natureza o fluxo nas condições de contorno assumem uma nova natureza assim como pode ser visto na Eq. 5, para condições de Dirichlet, e na Eq.6, para condições e VonNeumann, onde ambas são utilizadas na simulação.

$$\Phi_p = \Phi_{ib} + C_0(x_p - x_{ib}) + C_1(y_p - y_{ib}) + C_2(x_p - x_{ib})(y_p - y_{ib}) + C_3(x_p - x_{ib})^2 + C_4(y_p - y_{ib})^2 \quad (5)$$

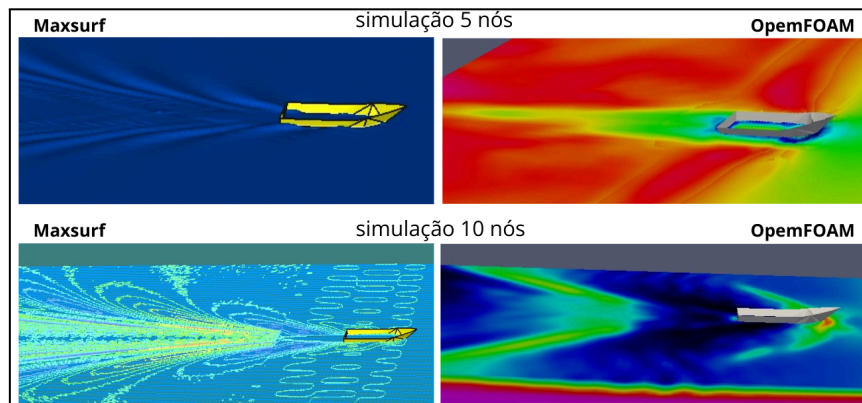
$$\Phi_p = C_0 + (n_{ib} \cdot \nabla \Phi) x'_p + C_1 y'_p + C_2 x'^2_p + C_3 x'^2_p + C_4 y'^2_p \quad (6)$$

Onde Φ_p e Φ_{ib} representam o fluxo no centro da face e no ponto da condição de contorno, x e y são coordenadas da mesma, n_{ib} representa a normal da face que está sendo analisada, enquanto C_0 , C_1 , C_2 , C_3 e C_4 são constantes já predefinidas nos cálculos.

Resultados e Discussão

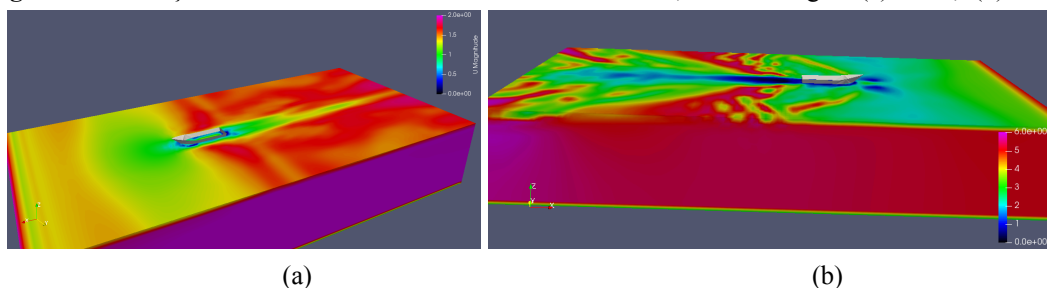
Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos a partir das simulações computacionais utilizando os softwares MaxSurf Resistance e foam-extend. A Figura 3 mostra os resultados obtidos nas simulações dos padrões de ondas do casco com calado de 0,1m e uma variação de velocidades de 5 e 10 nós. Na figura, observa-se uma grande semelhança nos padrões de ondas tanto do Maxsurf quanto do OpenFOAM, o que torna os dois softwares capazes de realizar essa análise, que influencia na estabilidade da embarcação considerando a segurança da navegação (Soares, 2023).

Figura 3. Simulação do padrão de ondas.



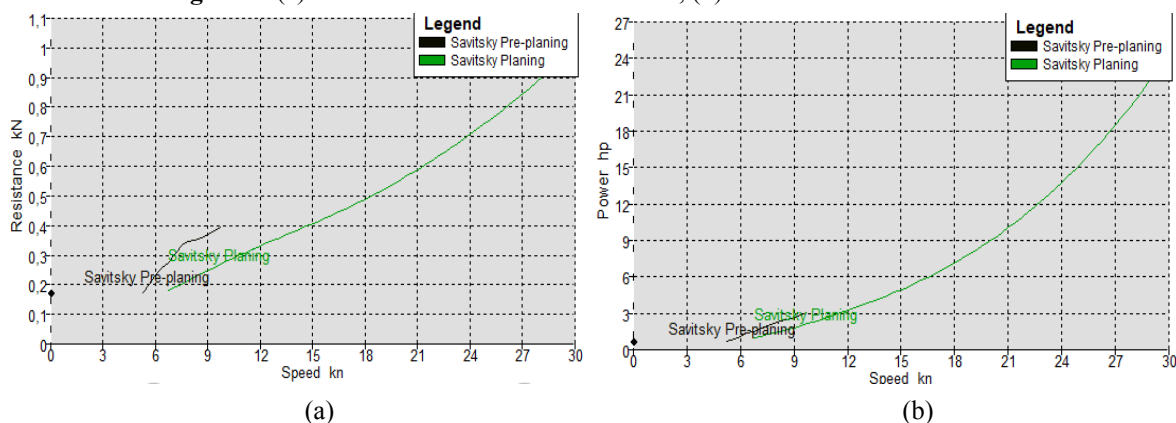
Fonte: Autores (2024)

A partir das simulações realizadas no foam-extend foi possível definir o comportamento do ar, bem como as velocidades desses fluidos, tanto para 5 quanto para 10 nós. Assim como pode ser observado na Fig. 4, é possível perceber que o fluido na camada limite apresenta uma maior concentração de água para a região mais próxima da embarcação, enquanto que é possível perceber que há uma maior concentração de ar para a região de trás do barco. De maneira similar, é possível perceber que a velocidade dos fluidos sofre uma maior alteração, para as regiões laterais, onde o ar possui uma maior imersão na camada limite.

Figura 4. Simulação da velocidade dos fluidos na camada limite, entre ar e água: (a) 5 nós; (b) 10 nós.

Fonte: Autores (2024).

As simulações envolvendo o Maxsurf, forneceram os gráficos das curvas de resistência ao avanço x velocidade (Fig. 5(a)) e da potência x velocidade (Fig. 5(b)). A Figura 5(a), mostra que, a embarcação entra em pré-planeio em uma velocidade de 5,25 kn, enquanto na Fig. 5 (b), nota-se que para atingir a velocidade de 15 kn é necessária uma potência de 4,947 hp, considerando uma eficiência de 85%.

Figura 5. (a) Curva da Resistência e velocidade, (b) Curva da Potência e velocidade.

Fonte: Autores (2024)

Desse modo, observa-se que os dois Softwares podem ser utilizados de maneira complementar, pois o foam-extend proporciona uma visão detalhada do escoamento e da interação entre os fluidos, enquanto o Maxsurf fornece informações precisas sobre a resistência ao avanço e o comportamento hidrodinâmico em diferentes velocidades. Nesse sentido, os dois softwares não só facilitam o desenvolvimento de embarcações amazônicas, mas também promovem a redução de custos e a melhoria da eficiência das embarcações. Todavia, é importante ressaltar que o MAXSURF, é um software pago que apresenta uma interface para o usuário. Por outro lado, o OpenFOAM, é um software gratuito que apesar de não apresentar uma interface, o que pode dificultar o seu uso, é capaz realizar simulações do comportamento do fluido e como ele irá se comportar em relação ao barco.

Conclusões

Diante o exposto, a integração dos resultados dos dois softwares mostra-se altamente eficaz para a otimização do desempenho hidrodinâmico das embarcações. O MAXSURF oferece uma análise precisa da resistência ao avanço e da potência necessária, enquanto o OpenFOAM complementa com uma detalhada simulação da interação entre fluidos. Portanto, a junção destes softwares não apenas facilita o desenvolvimento de barcos mais eficientes e sustentáveis, mas também promove avanços significativos na tecnologia naval, em especial na região Amazônica.

Agradecimentos

À Universidade Federal do Pará (UFPA), ao Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia (CEAMAZON), ao projeto EMOB-AMAZON, à Agência Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI).

Referências Bibliográficas

Bentley Systems. Maxsurf: User Manual. Windows Version 20. 2023. Documento eletrônico disponibilizado no ambiente Maxsurf.

Bispo, R. L. P.; Marques, C. H.; Sousa, J. A. Análise Numérica de Injeção de Ar na Redução do Arrasto Viscoso no Casco Disturbing Test Case. *Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão*. Paranaçuá, PR, v.7, n.1, p. 402-01, 402-20, 2022. DOI: 10.21575/25254782rmetg2022vol7n12076.

Favier, J. *et al.* Implementation of a discrete Immersed Boundary Method in OpenFOAM. *Computer of fluids*, 2016.

Fonseca, W. S. *et al.* Analysis of the Magnetohydrodynamic Behavior of the Fully Developed Flow of Conducting Fluid. *Energies*, v. 14, n. 9, p. 2463–2463, 26 abr. 2021.

Hirt, C. W.; Nichols, B. D. Volume of Fluids (VOF) Method for the Dynamics of Free Boundaries. *Journal of Computational Physics*, 39, 201-225, 1981. doi:10.1016/0021-9991(81)90145-5.

Iervolino, L. A. Estudo de resistência ao avanço de uma embarcação de planeio de 26 pés: abordagem computacional baseada em CFD. Universidade Federal de Santa Catarina. Joinville, 2015.

Irannezhad, M.: ship hull response in cylBumpInterIbFoam tutorial. In *Proceedings of CFD with OpenSource Software*, 2016, Edited by Nilsson. H.

Júnior, D .A. L. *et al.* Análise da Eficiência Energética em Plataforma Fotovoltaicas Flutuantes Através de Simulação Computacional. COBENGE. Rio de Janeiro, 2023.

Nunes, A. N. A importância conservacionista do projeto "Pé-Depincha" nas comunidades ribeirinhas Piraruacá na cidade de Terra Santa (PA) e Granja Barreirinha (AM). UEA, Parintins, 2020.

Peskin, C. S. Numerical Analysis of Blood Flow in the Heart. *Journal of Computational Physics*, 25, 220-252, 1977. doi:10.1016/0021-9991(77)90100-0.

Silva, P. I.; Aranha, M.; Araujo, T. Análise da importância do transporte aquaviário no viés da navegação de interior em Manaus: impactos e perspectivas na Amazônia. *Anais do 12º Seminário Internacional de Transporte e Desenvolvimento Hidroviário Interior*. Campinas, Galoá, 2021. DOI: 10.17648/sobena-hidroviario-2021-137509.

Soares, N. L. Do N. *et al.* Estudo Das Ondas Geradas Por Uma Embarcação Regional Do Tipo Expresso Utilizando O Software Maxsurf Resistance. *REVISTA FOCO*, [S. l.], v. 16, n. 12, p. e3861, 2023. DOI: 10.54751/revistafoco.v16n12-054.

Sousa, A. R. M.; Santos, L. H. B.; Lima Júnior, D. A. Construção de uma Bancada Didática para Estudo do Fenômeno de Magnetohidrodinâmica. COBENGE. Rio de Janeiro, 2023.