



ENSINO ATIVO EM DINÂMICA DOS FLUIDOS COMPUTACIONAL: PARTE I - PLANEJAMENTO

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2023.4420

LIVIA FLAVIA CARLETTI JATOBA - LIVIAJATOBA@IPRJ.UERJ.BR
UERJ

Resumo: O presente trabalho está inserido no contexto de uma disciplina eletiva do curso de graduação em Engenharia Mecânica, chamada Dinâmica dos Fluidos Computacional. A modelagem de fenômenos físicos utilizando ferramentas matemáticas e computacionais é uma das competências mencionadas nas Diretrizes Curriculares Nacionais dos Cursos de Engenharia e é a essência dessa disciplina. A Dinâmica dos Fluidos Computacional, faz parte da grande área de Mecânica dos Fluidos e Fenômenos de Transporte. O ensino de Dinâmica dos Fluidos Computacional abrange um amplo conteúdo, incluindo métodos numéricos, fenômenos de transporte, ferramentas computacionais de engenharia assistida por computador e/ou linguagem de programação. Um dos desafios encontrados no ensino dessa disciplina é a interdisciplinaridade dos conceitos abordados, uma característica inerente a essa área. Além disso, para estudantes de graduação brasileiros, outro desafio a ser superado é o acesso a publicações em português. Nesse contexto, o presente trabalho tem como proposta apresentar o planejamento para implantação de método de ensino ativo na disciplina Dinâmica dos Fluidos Computacional. A disciplina é planejada em função da descrição dos objetivos de aprendizagem, competências profissionais e técnicas. Em seguida, o conteúdo programático da disciplina é organizado de acordo com uma trilha de aprendizagem, com aulas teóricas e práticas, incluindo seus respectivos detalhamentos. Por fim, são apresentados resultados preliminares do uso de atividades de aprendizagem ativas.

Palavras-chave: aprendizagem ativa; aprendizagem baseada em problemas; educação em engenharia; mecânica dos fluidos, CFD

ENSINO ATIVO EM DINÂMICA DOS FLUIDOS COMPUTACIONAL: PARTE I - PLANEJAMENTO

1 INTRODUÇÃO

O uso de metodologias ativas de aprendizagem e ferramentas tecnológicas já é uma realidade na educação superior. As mudanças no processo de ensino abriram espaço para a utilização de tecnologias em diferentes modelos educacionais (MAMUN, 2022; NEVES, 2021). A adoção de ferramentas digitais para promover o ensino tornou-se tão importante que a União Europeia assinou um Plano de Ação para a Educação Digital (2021-2027), com o objetivo prioritário de desenvolver conteúdos de aprendizagem de alta qualidade (PUBLICATIONS OFFICE OF THE EUROPEAN UNION, 2020).

Muitos autores relatam o uso de metodologias ativas, como *flipped class* e *blended learning*, em cursos de engenharia. O principal recurso de ensino mencionado são os vídeos educacionais, que podem ser transmitidos ou gravados em plataformas de videoconferência, ou apresentações pré-gravadas com áudio explicativo (*screencast*). Esses vídeos são disponibilizados em diversas plataformas, como *Moodle*, *Blackboard*, *websites* ou canais de transmissão de vídeos. Além dos vídeos, também são mencionados exercícios em sala de aula, questionários *online* e tutoriais como recursos didáticos (AYALA, 2017; BHAGAVANULU, 2020; WEBSTER, 2020).

A Dinâmica dos Fluidos Computacional, também conhecida do inglês como *Computational Fluid Dynamics* (CFD), é uma área que se dedica à análise computacional de problemas relacionados ao escoamento de fluidos, transferência de calor e fenômenos correlatos (VERSTEEG, 2007). CFD é uma técnica de predição amplamente estabelecida pois reduz o tempo e os custos no desenvolvimento de projetos de engenharia. A modelagem de fenômenos físicos utilizando ferramentas matemáticas e computacionais é uma das competências mencionadas nas Diretrizes Curriculares Nacionais dos Cursos de Engenharia e é a essência dessa disciplina (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2019). Assim, é fundamental a oferta de disciplinas, para formação de engenheiros e engenharias, que tratam tanto o conhecimento técnico, quanto o uso de ferramentas computacionais.

Os aplicativos de simulação CFD podem ser divididos em duas categorias: aplicativos livres e comerciais. A vantagem de optar por um aplicativo comercial é uma interface gráfica intuitiva, integração com ferramentas CAD (*Computer Aided Design*) para construção do modelo geométrico e geradores de malha. Por outro lado, o custo das licenças comerciais pode ser um limitante. Os pacotes livres, ou gratuitos, não dependem do investimento em licenças, porém, possuem interface gráfica e literatura limitadas, que implicam em maior tempo de aprendizado por parte do usuário. Do ponto de vista das universidades públicas, o uso de aplicativos livres torna a ferramenta mais acessível. Além disso, os aplicativos livres oferecem uma maior possibilidade de escolhas didáticas e, os de código aberto, permitem ainda a implementação de novos modelos matemáticos.

Uma das primeiras publicações que utilizou CFD para ensinar os conceitos de aerodinâmica foi o trabalho de HOIST (1994), que destaca a capacidade no desenvolvimento de conceitos práticos, a parametrização para otimização de resultados e capacidade de visualizar o escoamento nas aplicações aerodinâmicas. As publicações de WANG & GAO (2017) e GARCIA & ROJAS (2009) trabalham o ensino de CFD através de

exemplos, tais como, o escoamento em bomba axial, tanque de mistura e escoamento em torno de um carro. Por fim, as publicações de RODRIGUEZ-MARTIN *et al* (2019) utilizaram o método de aprendizagem baseada em problemas, *Problem-Based Learning* (PBL), para trabalhar os conceitos de mecânica dos fluidos e CFD, onde o(a) docente atua como orientador(a) em um processo de ensino em que o(a) estudante trabalha de forma autônoma. Por fim, STERN *et al* (2006) desenvolveram uma interface educacional para o ensino de CFD aplicável à estudos de casos clássicos, tais como, escoamento em tubulações, escoamento em bocal e escoamento em torno de um aerofólio.

Apesar de observarmos um maior número de publicações didáticas e recursos tecnológicos na área de Dinâmica dos Fluidos Computacional, estas publicações estão majoritariamente em inglês. A literatura didática em português voltada para o ensino da área em CFD ainda é restrita. Os principais livros em português são FORTUNA (2020), MALISKA (2004) e BORTOLI (2000). Em se tratando de manuais e tutoriais, a documentação em português é ainda mais limitada (QUEIROZ, 2008).

Por fim, é importante destacar o crescimento do mercado de trabalho para projetos de engenharia utilizando ferramentas CFD. Várias empresas nacionais tiveram início através do processo de incubação em universidades como por exemplo, Wikki Brasil no Parque Tecnológico da COPPE/UFRJ, Tau Flow e DPR Engenharia na Unicamp e Aimirim na UFU. Muitas dessas empresas utilizam um aplicativo livre de CFD, o OpenFOAM, para projetos de consultoria e treinamento. Além dessas iniciativas, é possível encontrar outras empresas com atuação no mercado de simulação e escritórios de representação de aplicativos comerciais.

A proposta deste trabalho é apresentar resultados parciais de um projeto, em andamento, que tem como objetivo o desenvolvimento de método de ensino ativo no contexto de uma disciplina eletiva de Dinâmica dos Fluidos Computacional de um curso de engenharia.

2 METODOLOGIA

Este é um trabalho em desenvolvimento, que foi dividido nas seguintes etapas: planejamento, execução e avaliação. Esta publicação tem como proposta apresentar o detalhamento da etapa de planejamento. O objetivo geral do trabalho é o desenvolvimento de método de ensino ativo para disciplina Dinâmica dos Fluidos Computacional. A etapa de planejamento consiste nas definições dos objetivos de aprendizagem, competências técnicas e competências profissionais. O resultado deste planejamento é o conteúdo programático da disciplina detalhado em uma trilha de aprendizagem. São descritas ainda o uso de atividades de ensino ativa.

A disciplina Dinâmica dos Fluidos Computacional é uma eletiva do curso de engenharia mecânica cujos estudantes podem cursar a partir do 7º período. A disciplina tem uma carga horária de 75 horas por semestre. O principal objetivo de aprendizagem da disciplina é, que ao final do curso, os estudantes compreendam os princípios fundamentais de uma simulação CFD, os métodos numéricos incorporados em uma ferramenta de simulação e o aprendizado de uma ferramenta de simulação.

As habilidades profissionais trabalhadas são: pensamento crítico, trabalho colaborativo, comunicação de problemas de alta complexidade e capacidade de propor soluções inovadoras. Em termos de conteúdo programático, as seguintes habilidades técnicas são listadas:

1. conhecer a derivação das equações que governam o escoamento de fluidos e suas respectivas discretizações utilizando os métodos das diferenças finitas e volumes finitos;
2. conhecer as principais características dos modelos de turbulência;
3. conhecer as etapas de uma simulação CFD;
4. saber fazer convergência numérica e de malha em simulações CFD;
5. analisar e interpretar os resultados de uma simulação CFD, comparando-a com dados experimentais ou analíticos, e avaliando a qualidade dos resultados encontrados;
6. adquirir experiência no uso de um aplicativo de simulação CFD, incluindo a etapa de geração de malha e visualização dos resultados;
7. saber resolver problemas aplicados do escoamento de fluidos Newtonianos, incompressíveis, estacionário ou transiente, em regime laminar ou turbulento utilizando aplicativo de simulação CFD.

A estratégia de ensino ativo na disciplina faz uso dos seguintes métodos: sala de aula invertida ou mista, que será o método utilizado para trabalhar o conteúdo teórico com o principal material de apoio os vídeos educacionais do tipo *screencasts* e o *moodle* da disciplina; e a aprendizagem baseada em projetos, que irá trabalhar o conteúdo prático da disciplina através dos tutoriais, com estudo de casos *hands-on*, usando ferramentas computacionais livres.

Ferramentas tecnológicas são necessárias para realizar o curso e o mesmo é ministrado integralmente no laboratório de informática, com um estudante por computador. O *moodle* é a plataforma que organiza e distribui o conteúdo da disciplina, incluindo vídeos educacionais, questionários, tarefas e *links* para repositórios. As aulas teóricas fazem uso do *plug-in* *Wiris Quizzes* em questionários no *moodle*, para que os estudantes possam montar e resolver sistemas algébricos em exemplos resolvidos em sala de aula usando o *CalcMe*. O OpenFOAM é a ferramenta computacional escolhida para a realização das simulações CFD através de tutoriais *hands-on* organizados em estudos de casos. As demais ferramentas computacionais são o ParaView e o Gnuplot para visualização dos resultados. O sistema operacional utilizado é o Ubuntu, uma distribuição do Linux. É importante destacar que a principal ferramenta computacional, o OpenFOAM, não possui interface gráfica e todas as simulações consistem na chamada de executáveis usando o terminal do Linux.

Atividades de aprendizagem ativas são inseridas na dinâmica de ensino e tem como objetivo estimular as habilidades profissionais. Dois exemplos de atividades foram selecionados: notas adesivas (*sticky notes*) e resposta em 1 minuto (*1 minute paper*) (FILHO et al, 2019). A seguir é apresentado descritivo de cada uma das atividades:

1. Notas adesivas (*sticky-note*): tem como objetivo estimular o pensamento crítico, trabalho colaborativo e organização. A dinâmica é dada por:
 - a. A docente apresenta uma pergunta, ou problema, para a turma e cada estudante recebe pedaços de papel.
 - b. Os(as) estudantes devem escrever suas ideias para a solução do problema e colar no quadro da sala.
 - c. Em seguida, os estudantes devem trabalhar de forma colaborativa para classificar as ideias em categorias.
2. Resposta em 1 minuto (*1 minute paper*): tem como objetivo a reflexão sobre os conceitos da aula, trabalhar a habilidade de comunicação escrita e o(a) docente

tem dados sobre como os(as) estudantes estão entendendo o conteúdo das aulas.

A dinâmica é dada por:

- a. O(a) docente faz uma pergunta para os estudantes.
- b. Informar que as respostas devem ser concisas.
- c. Os estudantes possuem um tempo limitado para responder à pergunta, por exemplo 1 minuto.
- d. Exemplos de perguntas:
 - i. Qual foi o aprendizado mais relevante (ou sua maior dúvida) na aula de hoje?
 - ii. Qual pergunta interessante permanece sem resposta sobre o tópico de hoje?
 - iii. Na sua opinião, qual foi a ideia mais útil discutida na aula de hoje?
 - iv. Durante a aula de hoje, que ideia você teve que poderia ser colocada em prática?
 - v. O que você entendeu como o principal objetivo da aula de hoje?
 - vi. O que foi discutido na aula hoje tem conexão com o que você está aprendendo ou aprendeu em outro(s) curso(s)?

Por fim, a avaliação escrita dos(das) estudantes consistirá em relatórios que apresentam a solução de "simulações-desafio", ou seja, simulações CFD propostas com base nos tutoriais trabalhados nas aulas práticas.

3 RESULTADOS

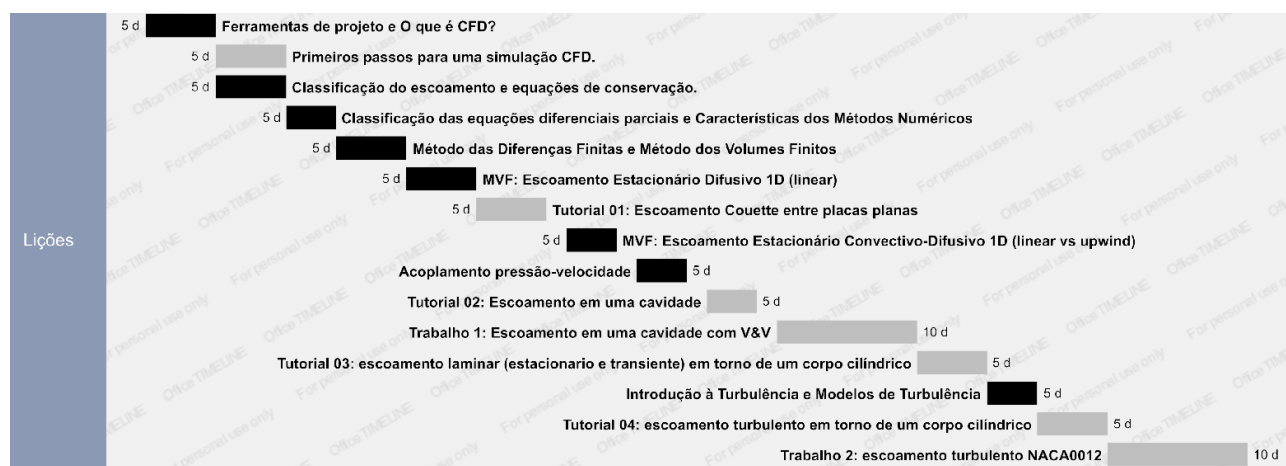
Por se tratar de um projeto em desenvolvimento, são apresentados a seguir os resultados preliminares acerca da etapa de planejamento, ou seja, o plano de curso da disciplina, incluindo o planejamento das aulas teóricas e práticas, alinhadas com o objetivo de aprendizado, habilidades profissionais e técnicas citadas anteriormente.

A Figura 1 mostra a organização do conteúdo das aulas teóricas e práticas, ou trilha de aprendizagem, onde as aulas teóricas são aquelas em preto e as práticas são aquelas em cinza. O planejamento da Figura 1 considera um semestre de 15 semanas onde as aulas, ou lições, são apresentadas por semana (5d). As aulas teóricas totalizam 8 semanas e as práticas 9 semanas, incluindo as avaliações. O detalhamento de cada aula teórica é apresentado na Tabela 1. Já as aulas práticas são apresentadas na forma de tutoriais.

Os tutoriais foram planejados de modo a introduzir conceitos de forma progressiva, ou seja, o conteúdo é acumulativo e novos conceitos são adicionados à medida que se avança no curso. O primeiro tutorial, "Escoamento Couette entre Placas Planas", tem como objetivo comparar solução numérica com solução analítica. Os principais conceitos e ferramentas computacionais abordados são: configuração de caso no OpenFOAM, construção de geometria e malha, análise da convergência numérica de caso estacionário e comparação com solução analítica usando o Gnuplot. O segundo tutorial é o "Escoamento laminar em uma cavidade" cujo objetivo é estudar a convergência de malha na reprodução qualitativa de linhas de corrente de um escoamento laminar em uma cavidade quadrada. Os conceitos e ferramentas computacionais abordados são: convergência de malha e análise de resultado de linha de corrente usando ParaView. Após esta etapa os estudantes já foram introduzidos ao conteúdo necessário para realizar a primeira avaliação, ou "simulação-desafio". Na Figura 1, esta atividade está referenciada como Trabalho 1, onde cada estudante recebe um artigo da literatura com

dados experimentais de campo de velocidade em escoamento de cavidades com diferentes geometrias e condições de escoamento. O objetivo do trabalho é que os estudantes realizem simulações para reproduzir os resultados experimentais e, em seguida, redigir um relatório com a definição do problema e a discussão dos resultados.

Figura 1 – Trilha de aprendizagem.



Fonte: A autora.

Tabela 1 - Detalhamento do conteúdo das aulas teóricas.

Lição	Detalhamento
Ferramentas de projeto.	Apresentar as ferramentas de projeto na engenharia, incluindo a distinção entre o método experimental e os teóricos (analítico e numérico).
O que é CFD?	O que é CFD? Por que fazer CFD? Etapas de uma simulação CFD. Convergência em simulações CFD.
Classificação do escoamento e equações de conservação.	Classificação do escoamento. Forma geral da equação de conservação. Equações que governam o escoamento de fluidos incompressíveis.
Classificação das equações diferenciais parciais.	Classificação das equações diferenciais parciais. Tipos de condições de contorno.
Características dos Métodos Numéricos.	Características dos métodos numéricos. Malhas. Métodos de discretização. Solução do sistema algébrico. Propriedades dos métodos numéricos.
Método das Diferenças Finitas e Métodos dos Volumes Finitos	Método das Diferenças Finitas e aproximações para a 1ª derivada. Princípios do Método dos Volumes Finitos.
MVF: Escoamento Estacionário Difusivo 1D (linear).	Equações discretas para escoamento 1D difusivo estacionário. Interpolação linear. Condições de contorno de 1º tipo.
MVF: Escoamento Estacionário Convectivo-Difusivo 1D (linear vs upwind)	Equações discretas para escoamento 1D convectivo-difusivo estacionário. Interpolação linear vs upwind para o termo convectivo.

Acoplamento pressão-velocidade	Acoplamento pressão-velocidade para escoamento incompressível. Equação da pressão.
Introdução à Turbulência e Modelos de Turbulência	Características do escoamento turbulento. Média de Reynolds. Média de Reynolds da Equação de Navier-Stokes. Teoria de Boussinesq. Modelos para Tensor de Reynolds.

Fonte: A autora.

O terceiro tutorial consiste no escoamento laminar em torno de um corpo cilíndrico para dois números de Reynolds, cujo objetivo é comprar a convergência numérica de um escoamento estacionário e um transiente, através de uma propriedade integrada, como a força ou o coeficiente de arrasto. O conceito trabalhado é a análise da convergência numérica de um escoamento transiente. O último tutorial é o de escoamento turbulento em torno de um corpo cilíndrico, que tem como objetivo ensinar a configuração de uma simulação usando um modelo de turbulência. Neste ponto todas as ferramentas computacionais já foram introduzidas e o principal conceito trabalhado é o aumento na complexidade para um escoamento turbulento. Por fim, a segunda avaliação, ou Trabalho 2, consiste no escoamento turbulento em torno de um aerofólio NACA0012. Os estudantes são apresentados com diferentes ângulos de ataque e número de Reynolds e precisam realizar as simulações CFD, garantindo convergência e discutindo os resultados.

Por fim, uma vez que todo o conteúdo programático do curso foi organizado, a próxima etapa do projeto consiste na produção do material didático. Os vídeos educacionais, ou *screencasts* serão produzidos de acordo com os tópicos das aulas teóricas, detalhados na Tabela 1. Já os tutoriais, ou estudos de casos *hands-on*, serão compostos por um documento com o passo-a-passo para a realização do mesmo e, um repositório, com os arquivos necessários para a realização da simulação CFD e análise de resultados.

A seguir, a Tabela 2 apresenta resultados preliminares do uso da atividade de aprendizagem ativa "Resposta em 1 minuto (*1 minute paper*)" realizada em algumas aulas da disciplina. O texto apresentado na Tabela 2 foi editado em relação ao original para melhor clareza. A atividade foi realizada de forma anônima entre os estudantes e a docente. Este resultado preliminar apoia o processo decisório de qual conteúdo precisa ser abordado nos vídeos educacionais com maior destaque para sanar as dúvidas mais frequentes dos estudantes. Os resultados mostram a necessidade de produção de material didático introdutório sobre todas as ferramentas computacionais (Linux, gnuplot e CalcMe no moodle), não apenas para a ferramenta de simulação CFD (OpenFOAM).

Tabela 2 - Resultados para atividade de aprendizagem ativa
"Resposta em 1 minuto (*1 minute paper*)".

Lição/Pergunta	Respostas dos estudantes:
Características dos Métodos Numéricos. Método das Diferenças Finitas. O que você entendeu como o objetivo da aula de hoje?	<ol style="list-style-type: none">1. O objetivo é com a solução numérica de equações que representa um suposto problema.2. Técnicas de análise de gráficos referentes a variáveis de interesse monitoradas.3. Objetivo foi introduzir a série de Taylor para aplicação dos métodos numéricos que serão utilizados pelo OpenFOAM, ou seja, para melhor compreensão dos métodos e melhor precisão nas respostas.

	<ol style="list-style-type: none">4. Utilizar as aproximações discretas para resolver problemas envolvendo EDP's. Melhorar a qualidade da malha para melhorar o resultado final.5. Para resolver um problema há a necessidade do uso das séries de Taylor, para aproximações discretas do tipo centrada, recuada e avançada. Faz-se necessário o desenvolvimento de uma malha computacional e posterior refinamento para avaliar a convergência.
MVF: Escoamento Estacionário Difusivo 1D (linear). Qual foi a maior dúvida na aula de hoje?	<ol style="list-style-type: none">1. Condições de contorno na hora de colocar no programa (CalcMe no moodle).2. Maior dúvida foi entender como simplificar a equação para a forma discreta.3. Entender as etapas iniciais para a dedução de equação discreta.4. Na montagem da matriz dos coeficientes.5. Como descrever as equações discretas no CalcMe.6. Na aula de hoje, apresentei dificuldades para chamar as equações discretas no CalcMe no questionário do moodle.
Trabalho 1: Escoamento em uma cavidade com verificação e validação. Na sua opinião, qual foi a ideia (ou aprendizado) mais útil discutida no Trabalho 1?	<ol style="list-style-type: none">1. O aprendizado mais útil, além de novas técnicas computacionais, foi como fazer o relatório (tanto as dicas de inicialização quanto como relatar os gráficos e discutir os resultados).2. Aprender sobre o OpenFOAM e como reproduzir dados de um trabalho já realizado.3. Desenvolvimento de escoamento por meio de refinamento de malha, usando o OpenFOAM. Achei muito interessante a representação dos vórtices computacionalmente.4. A ideia útil do Trabalho 1 é através da programação analisar os dados obtidos, plotar os gráficos e comparar os resultados.5. Ser capaz de fazer a análise crítica dos resultados obtidos, saber se são satisfatórios ou não.

Fonte: A autora.

4 CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou o planejamento e resultados preliminares para implantação de um método de ensino ativo em uma disciplina de Dinâmica dos Fluidos Computacional. Inicialmente, foram definidos os objetivos de aprendizagem e competências técnicas e profissionais. Em seguida, o plano de curso, com o descritivo de cada aula, foi a etapa necessária para concluir o planejamento da disciplina. A trilha de aprendizagem proposta será utilizada para elaborar os vídeos educacionais, questionários no moodle e tutoriais. Uma vez que o conteúdo teórico foi organizado no formato de tópicos, a próxima etapa é produzir os vídeos educacionais, para que o método de sala de aula invertida, ou mista, seja implementado. Em relação ao conteúdo prático, a redação dos tutoriais, bem como a manutenção de um repositório com os arquivos de simulação, é a próxima etapa. Note que, cada tutorial equivale a um estudo de caso, contendo um documento descritivo do passo-a-passo e repositório aberto para os arquivos das simulações.

Durante a execução do projeto, foi possível identificar os seguintes desafios: o uso do terminal no Linux é a dúvida mais frequente durante as aulas práticas; e, faz-se necessário a produção de material didático introdutório específico sobre o CalcMe, utilizado no moodle, o gnuplot e, por fim, o OpenFOAM, incluindo nomenclaturas e organizações particulares de cada ferramenta. Essas observações reforçam a

necessidade do desenvolvimento de material didático, em português, para a disciplina Dinâmica dos Fluidos Computacional.

Uma vez que o material didático tenha sido produzido, será possível iniciar a etapa de execução do método de ensino ativo. Por fim, o projeto tem como resultado final capacitar mão de obra especializada nas técnicas de simulação de fluidos e despertar vocações através da difusão do conhecimento.

AGRADECIMENTOS

A autora agradece o financiamento da sua instituição de filiação.

REFERÊNCIAS

AYALA, Orlando M.; POPESCU, Otilia; JOVANOVIĆ, Vukica M.. **Flipped classroom as blended learning in a fluid mechanics course in engineering technology**. In ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings, volume June, 2017.

BHAGAVANULU, D. V.S. . **Innovative classroom activity with flipped teaching in fluid mechanics – a case study**. Journal of Engineering Education Transformations, 33 (Special Issue):158–160, 2020.

BORTOLI, A. L. **Introdução A Dinâmica De Fluidos Computacional**, LTC, 2000.

FILHO, G.; SAUER, L.; ALMEIDA, N., VILLAS-BOAS, V. Uma Nova Sala de Aula é Possível - Aprendizagem Ativa na Educação em Engenharia. LTC, 2019.

FORTUNA, A. O. **Técnicas Computacionais Para Dinâmica dos Fluidos. Conceitos Básicos e Aplicações**, EdUSP, 2020.

GARCIA, N. AND ROJAS, L., **Teaching How To Use The CFD Approach By An Example: Hydrodynamics Within A Passenger Car Compartment In Motion**, Proceedings of FEDSM2009 ASME 2009 Fluids Engineering Division Summer Meeting, 2009.

HOIST, TERRY L. **Computational Fluid Dynamics Uses in Fluid Dynamics / Aerodynamics Education**. National Aeronautics and Space Administration, 1994.

MALISKA, C. R. **Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional**, LTC, 2004.

MAMUN, A.; AZAD, A. K.; MAMUN, A.; BOYLE, M. **Review of flipped learning in engineering education: Scientific mapping and research horizon**, Education and Information Technologies, 27(1):1261–1286, 2022.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, CONSELHO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, CÂMARA DE EDUCAÇÃO SUPERIOR. **Resolução CNE/CES nº 2, de 24 de abril de 2019 - Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia**, 2019.

NEVES, Renato M.; LIMA, Rui M.; MESQUITA, Diana. **Teacher competences for active learning in engineering education**. Sustainability (Switzerland), 13(16): 1–21, 2021.

PUBLICATIONS OFFICE OF THE EUROPEAN UNION, EUROPEAN COMMISSION. **Digital education action plan 2021-2027**, Technical report, 2020.

QUEIROZ, N. F. **Simulação com CFD de escoamento de fluxo ao redor de um edifício de 10 andares - Tutorial Ansys Workbench**, Universidade Federal Do Rio Grande Do Norte, 2008.

Rodríguez-Martin, M.; Rodriguez-Gonzalves, P.; Sanchez-Patrocinio, A.; Sánchez, J. R. **Short CFD simulation activities in the context of fluid-mechanical learning in a multidisciplinary student body**. Applied Sciences (Switzerland), 2019.

STERN, F.; XING, T.; YARBROUGH, D. B.; ROTHMAYER, A.; RAJAGOPALA, G.; OTTA, S. P.; CAUGHEY, D.; BHASKARAN, R.; SMITH, S.; HUTCHINGS, B.; MOEYKENS, S. **Hands-On CFD Educational Interface for Engineering Courses and Laboratories**. Journal of Engineering Education, 2006.

VERSTEEG, H. K.; MALALASEKERA, W. **Introduction to Computational Fluid Dynamics - The Finite Volume Method**, Pearson Education Limited, 2007.

WANG, Z.; GAO, D. **The Application of CFD in Teaching of Fluid Machinery**. Proceedings of the 3rd International Conference on Arts, Design and Contemporary Education (ICADCE), 2017.

WEBSTER, Donald R.; KADEL, Robert S.; NEWSTETTER, Wendy C. **What do we gain by a blended classroom? A comparative study of student performance and perceptions in a fluid mechanics course**. International Journal of Engineering Education, 36(1A): 2–17, 2020.

ACTIVE LEARNING IN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS: PART I - PLANNING

Abstract: *This work is focused on an elective course in the undergraduate program in Mechanical Engineering, named Computational Fluid Dynamics. The modeling of physical phenomena using mathematical and computational tools is one of the competences mentioned in the National Curricular Guidelines for Engineering Courses and is the essence of this discipline. Computational Fluid Dynamics is part of the broader field of Fluid Mechanics and Transport Phenomena. The teaching of Computational Fluid Dynamics covers a wide range of topics, including numerical methods, transport phenomena, computer-aided engineering tools, and/or programming languages. One of the challenges encountered in teaching this discipline is the interdisciplinary nature of the concepts covered, which is an inherent characteristic of this field. Additionally, for Brazilian undergraduate students, another challenge to be overcome is access to publications in Portuguese. This work presents the planning for an active learning method in the Computational Fluid Dynamics discipline. The discipline is planned based on the*

description of learning objectives, professional, and technical competences. Then, the syllabus of the discipline is organized according to a learning path, with theoretical and practical classes, including their respective details. Finally, preliminary results of the use of active learning activities are presented.

Keywords: *active learning; problem-based learning; engineering education; fluid mechanics; CFD.*