

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
ENGENHARIA QUÍMICA**

LUCAS CAPELLO

**USO DA FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL (CFD) APLICADA AO ENSINO
DE MECÂNICA DOS FLUIDOS**

**Bagé
2021**

LUCAS CAPELLO

**USO DA FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL (CFD) APLICADA AO ENSINO
DE MECÂNICA DOS FLUIDOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para o Curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Pampa como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. André Ricardo Felkl de Almeida

Coorientador: Prof. Dr. Márcio Marques Martins

**Bagé
2021**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

C238u Capello, Lucas

Uso da Fluidodinâmica Computacional (CFD) aplicado ao ensino de mecânica dos fluidos / Lucas Capello.

76 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Universidade Federal do Pampa, ENGENHARIA QUÍMICA, 2021.

"Orientação: André Ricardo Felkl de Almeida".

1. Fluidodinâmica. 2. Ansys. 3. Software. 4. Estudo de caso. I. Título.

LUCAS CAPELLO

**USO DA FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL (CFD) APLICADA AO ENSINO DE
MECÂNICA DOS FLUIDOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Química.

Dissertação defendida e aprovada em: 07 de outubro de 2021.

Banca examinadora:

Prof. Dr. André Ricardo Felkl de Almeida

Orientador

UNIPAMPA

Dr. Márcio Marques Martins

Co orientador

UNIPAMPA

Profa. Dra. Gabriela Silveira da Rosa

UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **ANDRE RICARDO FELKL DE ALMEIDA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 07/10/2021, às 19:45, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **GABRIELA SILVEIRA DA ROSA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 07/10/2021, às 20:12, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **MARCIO MARQUES MARTINS, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 07/10/2021, às 20:28, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0632804** e o código CRC **F0684787**.

AGRADECIMENTO

Primeiramente, agradeço o apoio e incentivo aos estudos por parte de minha mãe, uma mulher forte e guerreira, uma professora e diretora que a muitos ensinou e serviu e serve como fonte de inspiração e de resistência para mim. Do mesmo modo, quero deixar aqui descrito minha enorme gratidão e consideração a todos os educadores que fizeram parte da minha trajetória de aprendizagem e, que com seus conhecimentos, me fizeram chegar até aqui e despertar em mim uma paixão pela arte de ensinar.

Reverencio aqui a grande oportunidade que tive de cursar este curso maravilhoso em uma universidade pública e de qualidade, composto por profissionais altamente qualificados e solícitos. Em especial, cito a rainha Ana Rosa, a calculadora humana Marcílio, o nerd Rodolfo, a criteriosa Gabriela, o memeiro Márcio, o workaholic Arruda, a mãe Tânia e o *rockeiro* André. Espero ser um profissional a altura e ter em minha personalidade características de cada um de vocês.

Parabenizo meu companheiro por aguentar os meus surtos, por ser esse ser humano e jornalista exemplar e agradeço por todo crescimento, conversas, momentos e realizações que compartilhamos. Além disso, sou grato pelos amigos, colegas e companheiros de profissão que conheci e convivi e por ter tios empáticos, ativos e cooperativos, que foram fundamentais durante esta etapa da minha vida.

Por fim, de modo geral, agradeço a todos que me ajudaram e acreditaram em meu potencial.

“Onde quer que haja mulheres e homens, há sempre o que fazer, há sempre o que ensinar, há sempre o que aprender.”

Paulo Freire

RESUMO

Um dos grandes problemas enfrentados pelas instituições de ensino superior do país são os altos índices de evasão e retenção existentes nos cursos das ciências exatas. No caso das Engenharias, dentre as componentes curriculares que apresentam um número expressivo de reprovações, tem-se como exemplo a disciplina de Fenômenos de Transporte, no qual a Mecânica dos Fluidos está contida. Esta apresenta muitas equações matemáticas, deduções e conceitos teóricos necessários para serem correlacionados com a prática, mas que acabam não sendo bem compreendidos pelos estudantes e, assim, desmotivando-os. Além disso, os ensinamentos apresentados nessa área do conhecimento norteiam e integram saberes fundamentais para a formação do engenheiro no decorrer do curso e na profissão e, desse modo, percebe-se que é importante pensar em novas metodologias de ensino para diminuir os índices de retenção nessas componentes, proporcionar uma maior interação entre teoria e prática e intensificar a explicação das partes de maior dúvida e dificuldade apontadas pelos discentes. Para isso, esse trabalho teve como objetivo a utilização do *Ansys Fluent*, capaz de simular a dinâmica dos fluidos, a fim de auxiliar na visualização dos comportamentos e no entendimento dos conceitos físicos inerentes ao assunto. Desse modo, através de uma oficina *online*, apresentou-se estudos de caso referentes ao conteúdo programático de Fenômenos de Transporte I com atuais e ex-discentes desta componente curricular, referente ao curso de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Pampa, no qual foi possível demonstrar a utilização dos resultados numéricos e gráficos no ensino da fluidodinâmica. Com isso, de acordo com os discentes, a oficina os ajudou a observar o fluxo dos fluidos de forma mais dinâmica, a relacionar a teoria com a realidade e compreender o conteúdo com maior facilidade. Através da análise quantitativa, constatou-se melhoria nas médias das sete questões, com valores entre 11,8 e 40%, redução de valores 0 e aumento de discentes com pontuações superiores e, ainda, um Ganho de Aprendizagem de 19%.

Palavras-chave: Fluidodinâmica. *Ansys. Software*. Estudo de caso.

ABSTRACT

One of the major problems faced by higher education institutions in the country is the high dropout and retention rates that exist in exact science courses. In the case of Engineering, among the curricular components that present a significant number of failures, there is the example of Transport Phenomena, in which fluid mechanics is contained. This presents many mathematical equations, deductions and theoretical concepts necessary to be correlated with practice, but which end up not being well understood by students and, thus, discouraging them. In addition, the teachings presented in this area of expertise guide and integrate fundamental knowledge for the training of engineers throughout the course and in the profession; therefore it is clear that it is important to think of new teaching methodologies to reduce retention rates in these components, provide a greater interaction between theory and practice and intensify the explanation of the parts of greatest doubt and difficulty pointed out by the students. For this purpose, this work intended to use the Ansys Fluent, capable of simulating fluid dynamics, in order to assist in the visualization of behaviors and in the understanding of the physical concepts inherent to the subject. Hence, through an online shop class, case studies were presented regarding the syllabus of Transport Phenomena I with current and former students of this curricular component, referring to the Chemical Engineering and Food Engineering courses at Federal University of Pampa, in which it was possible to demonstrate the use of numerical and graphical results in the teaching of fluid dynamics. Thus, according to the students, the shop class helped them to observe the fluid flows in a more dynamic way, to relate theory to reality and to understand the content more easily. Through quantitative analysis, it was found an improvement in the averages of the seven questions, with values between 11.8 and 40%, a reduction of 0 values and an increase in students with higher scores, and also a Learning Gain of 19%.

Keywords: Fluid dynamics. Ansys. Software. Shop class.

LISTA DE FIGURAS DO ARTIGO CIENTÍFICO

Figura 1: Passos para simulação de casos no <i>software Ansys Fluent</i>	41
Figura 2: Módulo e simulação do tubo de <i>Venturi</i>	44
Figura 3: Curva de calibração e equação de ajuste.....	45
Figura 4: Resultados obtidos pela simulação do tubo de <i>Venturi</i>	45
Figura 5: Caracterização do escoamento de <i>Couette</i>	46
Figura 6: Perfil de velocidade de escoamento de <i>Couette</i>	46
Figura 7: Escoamento de <i>Poiseuille</i>	47
Figura 8: Perfil de velocidade do escoamento de <i>Poiseuille</i>	47
Figura 9: Perfil de velocidade ao longo da tubulação.....	47
Figura 10: Resultado do caso turbulento.....	48

LISTA DE TABELAS DO ARTIGO CIENTÍFICO

Tabela 1: Resultados obtidos da análise referente à Pergunta 1.....	54
Tabela 2: Resultados obtidos da análise referente à Pergunta 2.....	54
Tabela 3: Resultado da Pergunta 3.....	55
Tabela 4: Análise da Pergunta 4.....	55
Tabela 5: Resultados relacionados à Pergunta 5.....	56
Tabela 6: Resultados da Pergunta 6.....	55
Tabela 7: Dados referentes à Pergunta 7.....	57
Tabela 8: Cálculo do Ganho de Aprendizagem.....	58

LISTA DE QUADROS DO ARTIGO CIENTÍFICO

Quadro 1: Dificuldades relatadas pelos atuais estudantes da componente.....	49
Quadro 2: Dificuldades relatadas por quem já conseguiu aprovação na componente.....	49
Quadro 3: <i>Feedback</i> 1 sobre como a simulação ajudou no aprendizado.....	50
Quadro 4: <i>Feedback</i> 1 sobre utilização da simulação em demais disciplinas.....	51
Quadro 5: <i>Feedback</i> 2 sobre como a simulação ajudou no aprendizado.....	52
Quadro 6: <i>Feedback</i> 2 sobre utilização da simulação em demais disciplinas.....	53

LISTA DE SIGLAS DO TCC

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CES/CNE – Câmara de Educação Superior do Conselho Nacional de Educação

CFD – *Computational Fluid Dynamics* (Fluidodinâmica Computacional)

DCN – Diretrizes Curriculares Nacionais

DNS – *Direct Numerical Simulation* (Simulação Numérica Direta)

D.O.U. – Diário Oficial da União

IES – Instituições de Educação Superior

LES – *Large Eddy Simulation* (Simulação de Grandes Escalas)

MEC – Ministério da Educação

MVF – Método dos Volumes Finitos

NBR – Norma Brasileira

PBL – *Problem Based Learning* (Aprendizagem Baseada em Problemas)

RANS – *Reynolds-averaged Navier-Stokes* (Equações de Navier-Stokes com médias de Reynolds)

RDD – Recursos Didáticos Digitais

TBL – *Team Based Learning* (Aprendizado Baseado em Equipes)

TIC – Tecnologias de Informação e Comunicação

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso

UFG – Universidade Federal de Goiás

UFJF – Universidade Federal de Juiz de Fora

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

UNIPAMPA – Universidade Federal do Pampa

USJT – Universidade São Judas Tadeu

UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE SIGLAS DO ARTIGO CIENTÍFICO

CES/CNE – Câmara de Educação Superior do Conselho Nacional de Educação

CFD – *Computational Fluid Dynamics* (Fluidodinâmica Computacional)

MEC – Ministério da Educação

UFJF – Universidade Federal de Juiz de Fora

UNIPAMPA – Universidade Federal do Pampa

LISTA DE SÍMBOLOS DO ARTIGO CIENTÍFICO

dp – desvio padrão

g – Ganho de Aprendizagem

n – número de valores, amostra

x_i – valores individuais

\bar{x} – média dos valores

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	18
2.1	Objetivo Geral.....	18
2.2	Objetivos Específicos.....	18
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1	Evasão e Retenção.....	19
3.1.1	Evasão e Retenção em Fenômenos de Transporte I	21
3.2	Metodologia Ativa de Aprendizagem.....	22
3.2.1	Estudo de Casos.....	24
3.2.2	Alinhamento com as DCNs de Engenharia	25
3.3	Uso de softwares no ensino	28
3.3.1	Simulação CFD	28
3.3.2	O <i>Software Ansys Fluent</i>	30
3.4	Estudo da arte	31
3.5	Metodologia do Ganho de Aprendizagem.....	33
4	ARTIGO CIENTÍFICO	35
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	64
	REFERÊNCIAS	65

1 INTRODUÇÃO

A evasão e retenção de discentes dos cursos de Ciências Exatas é uma realidade preocupante que afeta quase todas as instituições de ensino do país, principalmente as universidades públicas (ACCARO; FRANCA; JACINTO, 2019). No caso dos cursos de Engenharia, esta realidade não é diferente, uma vez que não é de hoje que estudiosos vêm apontando e discutindo este problema.

Conforme dados do MEC (Ministério da Educação) de 2018, contidos no parecer CNE/CES n. 1/2019 (BRASIL, 2019), apenas 55,88% dos ingressantes dos cursos de Engenharia de instituições privadas e 46,29% de instituições públicas concluem a graduação. Esses, majoritariamente, levam cerca de 5 anos e meio a 6 anos e meio para se formarem, o que demonstra que ambos os índices de evasão e retenção nas Engenharias é uma realidade e uma preocupação.

Autores como Chrispim e Werneck (2003), argumentam que a evasão discente se dá majoritariamente nos primeiros anos do curso, devido ao conhecimento restrito às disciplinas básicas neste período, sem que tenham uma noção sobre os conteúdos mais aplicados à Engenharia. Além disso, segundo Soares (2008) e Castro (1994), as principais causas desse problema são devido ao fato do aluno ser aprovado em várias instituições; pelos conflitos vocacionais existentes; ou por se depararem com conhecimentos que não dominam e que acabam os assustando, fruto este da deficiência da educação básica.

Já a retenção pode ser explicada por dificuldades de integração acadêmica, principalmente nas componentes dos primeiros semestres, desmotivação com as disciplinas, falta de tempo para estudo e baixo comprometimento com o curso (POLYDORO, 2000; ZIMMERMANN *et al.*, 2011; RISSI; MARCONDES, 2011; NORONHA; CARVALHO; SANTOS, 2001). Nas Engenharias, um exemplo desse problema é a componente curricular de Fenômenos de Transporte que, conforme apontado por Villela, Condé e Nunes (2018), ao analisaram os índices de reprovação e trancamento no curso de Engenharia de Produção da UFJF (Universidade Federal de Juiz de Fora), apresentou o pior resultado dentre as opções averiguadas, com um índice de repetência de 69,90% e 13% de trancamento.

De acordo com Marczak *et al.* (2003), a disciplina de Fenômenos de Transporte é de suma importância nos cursos de Engenharia, principalmente em Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, por abranger conteúdos que serão utilizados em

grande parte das disciplinas subsequentes, como Simulação de Processos e Operações Unitárias. Por isso, esses autores apontam que é imprescindível reduzir os índices de retenção e estudar os motivos que levam a isso.

Para diminuir a retenção, estimular os estudantes e acompanhar as mudanças que o uso da tecnologia tem trazido, muito tem se falado sobre novas metodologias e ferramentas de ensino (RODRIGUES, 2015). Uma delas é a metodologia ativa, que se baseia no protagonismo do discente e propõe aprendizagem por aulas mais estimulantes, que fazem que o aluno participe das diversas etapas do desenvolvimento do conhecimento, sendo capaz de realizar análises críticas e reflexivas que impactarão em sua prática profissional (PRINCE, 2004).

Além disso, a metodologia ativa objetiva trazer o aluno mais próximo ao que é esperado de acordo com as Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) do Curso de Graduação em Engenharia. Conforme a Resolução n. 2, de 24 de abril de 2019 (BRASIL, 2019), espera-se um egresso que, dentre outras características, compreenda estar apto a pesquisar, desenvolver, adaptar e utilizar novas tecnologias, com atuação inovadora e empreendedora; adotar perspectivas multidisciplinares e transdisciplinares em sua prática; ser crítico, reflexivo e criativo.

Outra ferramenta educacional que vem sendo muito utilizada são os *softwares*, que cada vez mais acompanham o intenso avanço tecnológico (FIALHO; MATOS, 2010). Um exemplo são os programas de Simulação Numérica, que permitem a resolução de problemas complexos e a visualização e entendimento de casos da Engenharia (THIERS; CRUS, 2018). De acordo com Rocha e Silveira (2012) e Pinheiro *et al.* (2016), o uso da modelagem dos problemas estudados pode ajudar a aproximar o aluno à realidade, visto que muitos conteúdos apresentam grande abstração, sem falar que o contato com as ferramentas computacionais gera ao discente um novo horizonte de aprendizado, análise e visualização dinâmica dos fenômenos, ampliando um escopo antes restrito apenas à modelagem matemática.

Um exemplo de simulação numérica é a Dinâmica dos Fluidos Computacional (*Computational fluid dynamics* - CFD), um conjunto de técnicas matemáticas, numéricas e computacionais empregadas para fazer o estudo preditivo de Fenômenos de Transporte, apresentando-se como uma ferramenta de muita utilidade por permitir o acompanhamento e monitoramento de toda uma situação, como também uma possível previsão do comportamento de um determinado caso em análise (MARIANO, 2008; PIEROZAN, 2011; LAMINE; XIONG, 2013).

Um dos principais programas que trabalham com a simulação fluidodinâmica é o *Ansys Fluent*, presente no *Ansys Student*, que apresenta uma licença gratuita para estudantes e que, segundo Santos (2014), combina um solucionador avançado com uma alta capacidade de pré e pós-processamento, apresentando uma configuração intuitiva e interativa. Além disso, é possível perceber que ele já é bastante utilizado, visto que vários estudos encontrados na literatura utilizaram esse *software* (COELHO, 2009), apresentando, inclusive, resultados positivos tanto em relação com a veracidade dos resultados, como com a validação de seu uso no ensino de Mecânica dos Fluidos.

Com isso, com base nas metodologias ativas de aprendizagem e no período tecnológico em que estamos inseridos, viu-se importante a utilização de estudos de caso simulados como uma proposta metodológica de ensino-aprendizagem de Mecânica dos Fluidos, frente à importância deste conteúdo e aos altos índices de evasão e retenção apresentadas por esta. Deste modo, o desenvolvimento do presente trabalho visa à utilização do *Ansys Fluent* e da simulação CFD para elucidar conceitos e abordagens teóricas vistos na componente curricular de Fenômenos de Transporte I, contida no projeto pedagógico do curso de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos da UNIPAMPA (Universidade Federal do Pampa).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Utilizar o *Ansys Fluent* para simular a dinâmica dos fluidos de modo a auxiliar na visualização e no entendimento dos conceitos teóricos e práticos envolvidos na Mecânica dos Fluidos

2.2 Objetivos Específicos

- Estudar sobre o *software* a fim de entender como utilizá-lo;
- Selecionar os tópicos e conceitos a serem explorados e desenvolvê-los no *software* para posterior comparação com a teoria;
- Criar um formulário *online* de sondagem para verificar a opinião dos discentes sobre as principais dificuldades encontradas durante a aprendizagem de Fenômenos de Transporte I e cruzar os resultados com os dados encontrados na literatura;
- Por meio de uma oficina *online*, apresentar os estudos de caso escolhidos, correlacionando os resultados analíticos ou experimentais com os simulados;
- Aplicar uma lista de questões referentes ao conteúdo ministrado para os discentes responderem antes e após a execução da oficina, a fim de verificar o Ganho na Aprendizagem e a melhoria das médias em cada pergunta;
- Aplicar um questionário *online* sobre a percepção dos discentes sobre a oficina e a utilização da simulação CFD como metodologia de ensino;
- Compilar os resultados obtidos em um artigo científico.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Evasão e Retenção

A evasão e retenção por parte dos discentes dos cursos de Ciências Exatas é uma constante que afeta quase todas as instituições de ensino do país, principalmente as universidades públicas (ACCARO; FRANCA.; JACINTO, 2019). No caso dos cursos de graduação em Engenharia, esta realidade não é diferente, uma vez que não é de hoje que estudiosos vêm apontando e discutindo este problema.

Conforme esclarecido por Gaioso (2005), a retenção ocorre quando o discente permanece na universidade por mais tempo do que o normal do curso, ou seja, ficando retido por mais semestres na graduação. Por outro lado, a evasão é caracterizada quando o estudante deixa o curso de graduação, sem concluí-lo. De acordo com Colvero e Jovino (2014), há três tipos de evasão no ensino superior, a microevasão, a mesoevasão e a macroevasão, na qual a primeira é a evasão do curso, a segunda o desligamento da instituição e a última é a saída do sistema universitário.

Silva Filho *et al.* (2007), ao estudar sobre a evasão universitária, explica que os desperdícios causados por esse problema são de âmbitos sociais, acadêmicos e econômicos, no qual, no setor público, há investimento de recursos sem retorno para a sociedade e ociosidade de professores, funcionários, equipamentos e espaço físico. Além disso, Tontini e Walter (2014, p. 90) acrescentam dizendo que “para os estudantes, por sua vez, a evasão pode representar o atraso ou cancelamento de um sonho, perda de oportunidades de trabalho, de crescimento pessoal e de melhoria de renda, entre muitas outras consequências”.

Rios *et al.* (2017), ao estudarem sobre os motivos que levam os estudantes a largarem o curso, questionaram 543 discentes de uma instituição pública de ensino, multicampi, formada por dez unidades acadêmico-administrativas, cujos resultados apontaram que as principais justificativas são a falta de recursos financeiros para se manter, a não identificação com o curso, a distância e saudade dos pais, a depressão e falta de lazer e emprego na cidade. Ainda, quanto à retenção, concluiu-se que 67,40% dos investigados já tinham reprovado pelo menos uma vez durante a graduação, sendo 46,22% por nota, 5,16% por frequência e 16,02% por nota e por frequência.

Estas justificativas são corroboradas por autores como Soares (2008) e Castro (1994), que complementam que outros motivos para a evasão se dão devido ao fato que

o aluno pode ser aprovado em várias instituições, pelos conflitos vocacionais existentes ao reconhecer que o curso que optaram não correspondia às expectativas profissionais, ou por se depararem com conhecimentos e cobranças que não conhecem e que acabam os assuntando, fruto este da deficiência da educação básica. Além disso, Chrispim e Werneck (2003), argumentam que a evasão discente se dá principalmente nos primeiros anos do curso, devido ao conhecimento restrito às disciplinas básicas neste período, o que acaba fazendo com que o aluno fique desinteressado e desmotivado, sem ter uma noção sobre os conteúdos mais aplicados à formação do engenheiro.

Já a retenção pode ser explicada por dificuldades de integração acadêmica, principalmente nas componentes dos primeiros semestres, desmotivação com as disciplinas, falta de tempo para estudo e baixo compromisso com o curso (POLYDORO, 2000; ZIMMERMANN *et al.*, 2011; RISSI; MARCONDES, 2011; NORONHA; CARVALHO; SANTOS, 2001).

Conforme dados do MEC (Ministério da Educação) de 2018, referente às Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia, contidos no Parecer CNE/CES n. 1/2019 (BRASIL, 2019), apenas 55,88% dos ingressantes dos cursos de Engenharia de instituições privadas e 46,29% de instituições públicas concluem a graduação, na qual levam majoritariamente cerca de 5 anos e meio a 6 anos e meio para se formarem, o que demonstra que ambos os índices de evasão e retenção nas Engenharias é uma realidade e uma preocupação.

Christo, Resende e Kuhn (2018), ao investigarem os índices e motivos de evasão nos cursos de Engenharia do campus de Ponta Grossa da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) nos anos de 2013 e 2014, concluíram que 84 (8,4%) e 123 (10%), nos respectivos anos, abandonaram à instituição. Em relação às justificativas, concluiu-se que 61% dos casos trataram-se de motivos acadêmicos, 18% pessoais, 12% socioeconômicos e 9% familiares. De acordo com os resultados, os principais motivos foram não se adaptar ao curso, não contemplar as expectativas pessoais, distância e saudade da família, não gostar da cidade, problemas de relacionamento pessoal e impossibilidade de trabalhar para ajudar nos gastos financeiros.

Saraiva *et al.* (2020), ao estudarem sobre evasão e retenção nos cursos de Engenharia do campus Bagé da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), aplicaram um questionário de verificação sobre o tema com 46 discentes. Destas, verificou-se uma média de 4 reprovações por aluno e, ainda, que alguns discentes atribuíram integralmente para si a responsabilidade da reprovação, outros informaram

que falhas na metodologia e no material didático, e até mesmo a ausência deste, contribuíram para dificuldade de absorção do conteúdo. Quando perguntados em relação ao principal motivo para desistência do curso, observou-se que o grande número de reprovações e a dificuldade nas matérias foram citados na maioria das respostas, porém a dificuldade financeira para se manter também foi apontada como ponto crucial para a permanência.

Oliveira e Arruda (2015), estudaram também sobre o assunto na UNIPAMPA campus Bagé, porém focados no curso de Engenharia Química. Como resultado, 10,4% dos 48 participantes da pesquisa marcaram a opção “talvez” como resposta à possibilidade de desistência do curso, sendo a escolha de outra universidade e a distância familiar os principais motivos para este fato. Além disso, foi apontado que os altos índices de reprovações nos primeiros semestres do curso auxiliam na motivação para a evasão dos discentes.

3.1.1 Evasão e Retenção em Fenômenos de Transporte I

De acordo com Marczak *et al.* (2003), a disciplina de Fenômenos de Transporte é de suma importância nos cursos de Engenharia, principalmente em Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, por abranger conteúdos que serão utilizados em grande parte das disciplinas subsequentes, como Simulação de Processos e Operações Unitárias. Ainda, Fenômenos de Transporte é um conteúdo básico obrigatório para todas as Engenharias, conforme o Artigo 9 da Resolução n. 2, de 24 de abril de 2019 (BRASIL, 2009), no qual:

Todas as habilitações do curso de Engenharia devem contemplar os seguintes conteúdos básicos, dentre outros: Administração e Economia; Algoritmos e Programação; Ciência dos Materiais; Ciências do Ambiente; Eletricidade; Estatística. Expressão Gráfica; Fenômenos de Transporte; Física; Informática; Matemática; Mecânica dos Sólidos; Metodologia Científica e Tecnológica; e Química. (BRASIL, 2009, p. 5).

Villela, Condé e Nunes (2018), ao analisarem os índices de reprovação e trancamento no curso de Engenharia de Produção da UFJF, concluíram que Fenômenos de Transporte apresentou o pior resultado dentre as opções averiguadas, com um índice de repetência de 69,90% e 13% de trancamento. Do mesmo modo, Zimmerman *et al.*

(2011), analisaram os dados do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), no período de 2008 a 2010, e concluíram que esta matéria apresentou 19% de reprovação. Ainda, conforme Hora, Mesquita e Gomes (2018), ao investigarem os índices de repetências entre 2013 e 2016 no curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Goiás (UFG), a componente de Fenômenos de Transporte foi a que apresentou a maior porcentagem, de 28,3%.

Marczak *et al.* (2003), ao entrevistarem discentes e docentes do curso de Engenharia Química da UFRGS, concluíram que o aprendizado de Fenômenos de Transporte é uma atividade difícil devido a fatores como: necessidade de conhecimentos de cálculo vetorial, diferencial, integral e de física; não conciliação entre e prática; falta de compreensão dos termos e dos seus significados nas equações; entre outros. Além disso, Pan, Nadaleti e Lourenço (2019, p.103), apontam que a abstração de alguns conceitos pode ser um grande fator, pois, segundo eles “é notado durante o desenvolvimento da disciplina que a dificuldade de solução de exercícios aumenta quando o mesmo necessita de maior interpretação e visualização do esquema proposto, tornando-os mais difíceis”.

3.2 Metodologia Ativa de Aprendizagem

Com o avanço tecnológico, a diversificação do mercado e a inserção cada vez maior da informática no campo de trabalho, é imprescindível que o ensino de Engenharia acompanhe essa evolução e consiga seguir os passos da indústria (MAY; STRONG, 2006). Desse modo, é necessário que o aluno consiga ter uma formação que consiga fazer com que ele esteja imerso nessa realidade, acompanhando o dinamismo e a inovação trazida por ela. Com isso, muitos estudiosos, tais como Saviani (1991), acreditam que o ensino tradicional, voltado para métodos conteudistas, enciclopédicos e unilaterais, faz com que o estudante seja um agente passivo na aprendizagem, sem que ele consiga absorver, interpretar e associar o conhecimento adquirido com a sua realidade social.

Devido à essa necessidade, as Metodologias Ativas de Aprendizagem ganharam força, com o intuito de superar o ensino elementar diante das exigências do mundo moderno (RODRIGUES, 2015). Conforme expressa Lourenço Filho (1978), a principal característica desse sistema de ensino é fazer com que o aluno “aprenda a aprender”, de modo com que o trabalho em equipe seja priorizado, a pesquisa seja incentivada e os

conteúdos passem a ganhar significados, sendo o educando levado a observar e resolver situações problemáticas da realidade.

Com as Metodologias Ativas, o discente deixa de ser um agente passivo e passa a ser protagonista, o ser central e construtor de seu processo de ensino-aprendizagem, conforme explicam Vigotsky e Leontiev (1998), dois dentre os principais teóricos do tema. Além disso, de acordo com Valente, Freire e Arantes (2018), esse novo tipo de prática de ensino ajuda a criar oportunidades na qual o aluno pode desenvolver sua capacidade crítica, explorando atitudes que acarretam em melhorias no seu desempenho intelectual, educacional e profissional.

Silberman (1996) e Meyers e Jones (1993), explicam que a aprendizagem significativa, como também pode ser chamada a aprendizagem ativa, aborda atividades de ouvir, ver, perguntar, discutir, fazer e ensinar, e não simplesmente ouvir e memorizar, como no método tradicional de ensino. Neste sentido, Bonwell e Eison (1991), esclarecem que as atividades que promovem aprendizagem ativa são aquelas que ocupam o aluno em fazer alguma coisa e, ao mesmo tempo, o leva a pensar sobre o que está fazendo.

Outra observação importante sobre esse tema é apresentada por Fardin (2020), ao expressar que:

A utilização de metodologias ativas de ensino-aprendizagem tem o intuito de aproximar o perfil do aluno que entra no curso do perfil desejado para os profissionais ao saírem do curso, ou seja, profissionais proativos, dispostos a utilizar o conhecimento aprendido e gerar soluções criativas para problemas. (FARDIN, 2020, p.5).

Barbosa e Moura (2014), comentam a importância da metodologia ativa no ensino de Engenharia, por propiciar uma aprendizagem significativa, contextualizada e orientada para o uso das tecnologias contemporâneas; além de favorecer o uso dos recursos da inteligência, gerando habilidades em resolver problemas e conduzir projetos nos diversos segmentos do setor produtivo. Vê-se assim de extrema importância a utilização desse novo método de ensino, uma vez que, conforme é demonstrado por Escrivão Filho e Ribeiro (2009) e Villas-Boas (2011), a educação em Engenharia no Brasil ainda utiliza projetos pedagógicos tradicionais, com pouca relação com o contexto atual, pouca integração entre as componentes curriculares e pouca correlação

entre teoria e prática; de modo com que os estudantes adquirem habilidades necessárias apenas para conseguirem aprovação em provas e testes.

Do mesmo modo, Gouvêa e Casella (2004), apontaram a importância de utilizar estratégias de ensino que foquem na participação ativa do discente de Engenharia, de modo a romper com a passividade das aulas expositivas, na qual é decorado conhecimentos apenas para aprovação em provas. Esses autores justificam essa necessidade devido à “atual crise universitária no ensino de Ciências”, como eles nomeiam, na qual os alunos não entendem o significado das equações, apresentam uma aversão à linguagem matemática e não sentem necessidade de um estudo continuado ou de prestarem atenção no discurso do professor.

Diferentemente da aprendizagem passiva, a aprendizagem ativa não possui técnicas, mas sim algumas estratégias. Conforme Bonwell e Eison (1991), as estratégias pedagógicas da Aprendizagem Ativa incluem um grande leque de atividades que compartilham o elemento comum de envolver os estudantes em desempenhar tarefas e em pensar crítica e criativamente a respeito daquilo que estão desempenhando. Conforme explica Tutida (2020):

A metodologia Ativa engloba uma série de métodos que podem ser aplicados com teor diferente, mas com objetivos semelhantes de estímulo à consolidação do conhecimento e geração de reflexão e produção de senso crítico acerca do mundo. As principais metodologias ativas de ensino compreendem: estudo de caso, método de projetos, pesquisa científica, aprendizagem baseada em problemas (PBL), metodologia da problematização com o arco de Charles e Maguerez, aprendizado baseado em equipes (TBL) e método “peer instruction”. (TUTIDA, 2020, p. 14).

3.2.1 Estudo de Casos

Os Estudos de Caso consistem em “situações baseadas em eventos reais ou que poderiam perfeitamente ser reais, e contam uma história, o que favorece o engajamento dos estudantes” (SPRICIGO, 2014, p. 1). Ainda, conforme Sá *et al.* (2009), o Estudo de Casos é um método que oferece aos estudantes a oportunidade de direcionar sua própria aprendizagem e investigar aspectos científicos e sócio científicos, presentes em situações reais ou simuladas, de complexidade variável.

O Estudo de Caso tem o objetivo de aprofundar o conhecimento acerca de um problema, visando estimular a compreensão, sugerir hipóteses e questões e desenvolver

a teoria (MATTAR, 1996). De acordo com Pazinato *et al.* (2014), por meio desta metodologia é possível desenvolver nos discentes habilidades de comunicação oral e escrita, trabalho em equipe, pensamento crítico, resolução de problemas e tomada de decisões.

Conforme apresenta Gil (2002), sua aplicação em sala de aula é dividida em três etapas fundamentais: a preparação para a aula, na qual são selecionados os casos e descrito o roteiro e o problema de resolução; a utilização em sala de aula, na qual é selecionado os grupos, apresentado o caso e feita a discussão e a resolução; e a tarefa pós-aula, que consiste na avaliação e na verificação da aceitação e opiniões dos participantes. Pazinato *et al.* (2014), acrescenta dizendo que o professor tem função de um mediador, no qual incentiva a reflexão, a busca de informações e as consequências das escolhas e soluções apresentadas pelos grupos, de modo a ajudar nas suas resoluções.

Serra *et al.* (2006), expressa a importância em escolher um bom caso, o qual aborde um assunto relevante e interessante sob a perspectiva dos alunos; apresente fatos claros e precisos; seja possível da realidade vivenciada por eles; e que tenha um objetivo explícito. Desse modo, é possível prender a atenção e motivar os estudantes a refletir e tentar resolver o problema, tendo uma análise crítica e responsiva sobre o aprendizado ali contido.

Desse modo, o Estudo de Caso é uma aplicação da Metodologia Ativa, no qual o aluno passa a desenvolver a função de decifrar um problema, analisar, discutir e propor uma decisão/resolução do fato. Com isso, conforme defendido pelos autores aqui citados, essa técnica auxilia no desenvolvimento de habilidades, que muitas vezes não são alcançadas com o ensino tradicional, e refletem características importantes nos graduandos como, por exemplo, nos discentes de Engenharia, conforme discutido no tópico a seguir.

3.2.2 Alinhamento com as DCNs de Engenharia

Conforme esclarece o MEC, as Diretrizes Curriculares Nacionais são responsáveis por orientar a organização, articulação, o desenvolvimento e a avaliação das propostas pedagógicas de todas as redes de ensino do país (BRASIL, 2013). Ademais, de acordo com o Artigo 2 da Resolução n. 2, de 24 de abril de 2019 (BRASIL, 2019), as DCNs de Engenharia definem os princípios, fundamentos,

condições e finalidades, estabelecidas pela Câmara de Educação Superior do Conselho Nacional de Educação (CES/CNE), para aplicação, em âmbito nacional, na organização, no desenvolvimento e na avaliação do curso de graduação em Engenharia das Instituições de Educação Superior (IES).

A resolução CNE/ CES n. 2, de 24 de abril de 2019 (BRASIL, 2019), esclarece que as DCNs de Engenharia se preocupam cada vez mais em atender as demandas futuras da sociedade e atualizar a formação dos graduandos, de modo a acompanhar o avanço tecnológico e as novas exigências das empresas contratantes. Inclusive, a constância dessa preocupação é indicada com a citação do Parecer CNE/CES n. 1362/2001 (BRASIL, 2002):

O desafio que se apresenta o ensino de engenharia no Brasil é um cenário mundial que demanda uso intensivo da ciência e tecnologia e exige profissionais altamente qualificados. O próprio conceito de qualificação profissional vem se alterando, com a presença cada vez maior de componentes associadas às capacidades de coordenar informações, interagir com pessoas, interpretar de maneira dinâmica a realidade. O novo engenheiro deve ser capaz de propor soluções que sejam não apenas tecnicamente corretas, ele deve ter a ambição de considerar os problemas em sua totalidade, em sua inserção numa cadeia de causas e efeitos de múltiplas dimensões. Não se adequar a esse cenário procurando formar profissionais com tal perfil significa atraso no processo de desenvolvimento. (BRASIL, 2002, p. 1).

Outro assunto frisado é sobre o processo de ensino, que não pode ser visto apenas como uma mera atividade de cursar e ser aprovado nas disciplinas, e sim em um processo que envolve as pessoas, suas necessidades, suas expectativas e seus comportamentos; com a utilização de técnicas que permitam transformar a observação em formulação do problema a ser resolvido, com a aplicação da tecnologia. Para isso, o Parecer CNE/CES n. 1/2019 (BRASIL, 2019), afirma que:

Isso implica em adotar as metodologias de ensino mais modernas e mais adequadas à nova realidade global, as quais se baseiam na vasta utilização de tecnologias da informação e atuam diretamente na vertente mobilidade urbana, aliada ao desenvolvimento de competências comportamentais e à motivação dos estudantes para buscar fontes diversas de conteúdo. Nesse ambiente, os professores deixam de ter o papel principal e central na geração e disseminação dos conteúdos, para adotar o papel de mediador e tutor. (BRASIL, 2019, p.29).

Com isso, as Metodologias Ativas de Aprendizagem ganham destaque, de modo a imprimir maior sentido, dinamismo, autonomia e engajamento do aluno no processo de ensino. Por consequência, esse método reflete a necessidade em atender as competências necessárias na formação de um engenheiro, as quais são:

- I. formular e conceber soluções desejáveis de Engenharia, analisando e compreendendo a necessidade dos usuários e seu contexto;
- II. analisar e compreender os fenômenos físicos e químicos por meio de modelos simbólicos, uma vez verificados e validados por experimentação;
- III. conceber, projetar e analisar sistemas, produtos (bens e serviços), componentes ou processos;
- IV. implantar, supervisionar e controlar as soluções de Engenharia;
- V. comunicar-se eficazmente nas formas escrita, oral e gráfica;
- VI. trabalhar e liderar equipes multidisciplinares, e
- VII. conhecer e aplicar com ética a legislação e os atos normativos no âmbito do exercício da profissão.

E, além disso, contemplar as características do perfil desejado do egresso:

- I. ter visão holística e humanista, ser crítico, reflexivo, criativo, cooperativo e ético e com forte formação técnica;
- II. estar apto a pesquisar, desenvolver, adaptar e utilizar novas tecnologias, com atuação inovadora e empreendedora;
- III. ser capaz de reconhecer as necessidades dos usuários, formular, analisar e resolver, de forma criativa, os problemas de Engenharia;
- IV. adotar perspectivas multidisciplinares e transdisciplinares em sua prática;
- V. considerar os aspectos globais, políticos, econômicos, sociais, ambientais, culturais e de segurança e saúde no trabalho, e
- VI. atuar com isenção e comprometimento com a responsabilidade social e com o desenvolvimento sustentável.

3.3 Uso de softwares no ensino

Conforme Fialho e Matos (2010), a evolução da tecnologia e a rapidez na disseminação de conhecimentos fazem com que os educadores sejam convidados a vivenciar um cenário educacional cada vez mais voltado à pesquisa e utilização de ferramentas digitais. Imersos nesse contexto, os *softwares* educacionais aparecem como recursos de apoio ao trabalho docente, de modo a enriquecer a prática pedagógica e motivar os alunos a um aprendizado mais autônomo e realista.

Martins e Campestrini (2004), complementam ao dizer que as Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) proporcionam ao aprendiz uma interação com o objeto de estudo, indo ao encontro da realidade em que estão inseridos, chamada de “era da informação”. Com isso, tornam-se assim indivíduos ativos, responsáveis pela construção de seus próprios conhecimentos.

Adicionalmente, Leite (2015), expressa que os *softwares* são Recursos Didáticos Digitais (RDD), ou seja, objetos de aprendizagem que auxiliam no processo de ganho de conhecimento do indivíduo. Desse modo, essa ferramenta “faz com que o aluno desenvolva sua criatividade, tornando-se ativamente participante de construções cognitivas” (BATISTA *et al.*, 2018, p.4).

Do mesmo modo, Machado (2012), aponta que os *softwares* educacionais, apresentado em seu trabalho como tecnomídias, ou recursos tecnomidiáticos, apresentam aplicações nos processos formacionais na educação contemporânea. Pois, de acordo com ele, elas atuam como ferramentas de apoio ao desenvolvimento das atividades humanas e favorecem colaborativa e substancialmente a aprendizagem significativa dos conhecimentos explorados.

3.3.1 Simulação CFD

Um exemplo de *software* educacional são os de Simulação Numérica, que permitem a resolução de problemas complexos e a visualização e entendimento de casos da Engenharia (THIERS; CRUZ, 2018). De acordo com Rocha e Silveira (2012) e Pinheiro *et al.* (2016), o uso da modelagem dos problemas estudados pode ajudar a aproximar o aluno à realidade, visto que muitos conteúdos apresentam grande abstração, além de ser uma opção à experimentos práticos, que precisam de equipamento, matéria

prima e pessoal treinado para isso. Ainda, acrescentam que o contato com as ferramentas computacionais gera ao discente um novo horizonte de aprendizado, análise e visualização dinâmica dos fenômenos, ampliando um escopo antes restrito apenas à modelagem matemática.

Este fato é reforçado por Grepino e Rodrigues (2015), ao apontarem a necessidade da modelagem matemática em diversos conteúdos da graduação, como no caso das componentes curriculares de Fenômenos de Transporte, Operações Unitárias e Instrumentação e Controle, presentes no currículo base da Engenharia Química. Segundo estes autores, o uso dessa tecnologia é necessário para resolver problemas matemáticos mais complexos, muitas vezes sem resolução analítica, e complementar o entendimento dos processos envolvidos.

Uma variante da Simulação Numérica é a Dinâmica dos Fluidos Computacional (*Computational fluid dynamics* - CFD), um conjunto de técnicas matemáticas, numéricas e computacionais que são empregadas para fazer o estudo preditivo de Fenômenos de Transporte, apresentando-se como uma ferramenta para o acompanhamento e monitoramento de toda uma situação, como também uma possível previsão do comportamento de um determinado caso em análise (MARIANO, 2008; PIEROZAN, 2011; LAMINE; XIONG, 2013). Fortuna (2012) e Araújo (2014), expressam a grande utilização dessa ferramenta, na qual é possível visualizar o impacto de parâmetros como temperatura, vazão, pressão, tipo de fluido e geometria nos processos, permitindo não só simular como otimizar projetos.

Além disso, Lovatte *et al.* (2012, p.3), justificam o uso do CFD ao mencionar que as simulações realizadas por essa metodologia praticamente não apresentam restrições, “podendo resolver problemas complexos com condições de contorno gerais, definidos em geometrias também complexas e apresentando resultados com rapidez”. Ainda, Angelo e Barrios (2006), enfatizam que a simulação fluidodinâmica permite o estudo de situações mais realistas, sem a necessidade de tantas simplificações como nos métodos analíticos; além de não necessitarem o uso de bancadas experimentais, que demandam grande quantidade de recursos materiais e humanos.

Do mesmo modo, Anderson (1995), informa que as simulações numéricas podem substituir testes de alto grau de periculosidade e evitar possíveis acidentes; e analisar testes que jamais poderiam ser reproduzidos em laboratório. Da mesma maneira, Morais (2006, p. 104), destaca esse ponto ao afirmar que “tais recursos

permitem manipular experiências de diversos tipos, nomeadamente experiências de realização complexa, morosas e até perigosas de serem reproduzidas em sala de aula”.

Damian (2007), evidencia que a simulação CFD é atualmente uma técnica barata, confiável e eficiente, tendo inúmeras aplicações, possibilitando análise de detalhes locais de forma tridimensional e transiente. Por fim, vale mencionar que a simulação fluidodinâmica é validada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 15827:2007, a qual no capítulo 6, item 6.2.8, declara que “A análise fluidodinâmica pode ser realizada através da simulação computacional (CFD) ou através de comprovação experimental” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007).

3.3.2 O Software Ansys Fluent

Um dos principais programas que trabalham com a simulação fluidodinâmica em CFD é o *Ansys Fluent*, que apresenta uma licença gratuita para estudantes e que, segundo Santos (2014), combina um solucionador avançado com uma alta capacidade de pré e pós-processamento, apresentando uma configuração intuitiva e interativa. De acordo com *Ansys* (1998), o programa consiste em um conjunto de sistemas computacionais, baseado no Método dos Volumes Finitos (MVF), com diversos sistemas de análise, como estrutural, térmico e escoamento interno e externo de fluidos.

Tannehill, Anderson e Pletcher (1997), informam que o Método de Volumes Finitos (MVF) é uma aproximação numérica alternativa que permite resolver as equações governantes, diferenciais, na forma integral. Ao complementar, Bezerra (2018), explica que o MVF consiste na divisão do domínio de estudo em vários pequenos volumes, vindo a gerar uma malha computacional, a qual consiste de nós, onde ocorre o cálculo das variáveis de escoamento.

Conforme expresso por Wehmann *et al.* (2018), esse método consiste na discretização das equações de massa, momento, energia e turbulência, juntamente com equações de estado para se obter um sistema de equações lineares. Fortuna (2012), explica que a discretização é o processo de obtenção da solução numérica de um problema de uma região contínua, no qual é utilizado um conjunto de pontos discretos pertencentes a esse volume de controle, denominado malha.

Sampaio (2009), esclarece que os escoamentos turbulentos são mais complexos que os laminares, cuja turbulência pode ser contabilizada através de três técnicas:

Simulação Numérica Direta (DNS), Simulação de Grandes Escalas (LES) ou Equações de Navier-Stokes com médias de Reynolds (RANS). Dentre essas opções, Çengel e Cimbala (2007), concluem que o RANS é a modelagem que exige menor esforço computacional, proporcionando soluções dentro do padrão esperado, com um custo relativamente baixo.

Para a resolução do tensor específico de Reynolds, que surge nas equações de RANS, existem dois modelos: o $k-\varepsilon$ e o $k-\omega$ (ÇENGEL; SIMBALA, 2007). De acordo com Miranda, Junior e Rezende (2013) e Menezes (2008), a primeira opção representa a metodologia mais utilizada atualmente nos simuladores do tipo CFD, além de não necessitar de condições de contorno não homogêneas, como no segundo caso; e representar uma solução de baixo tempo computacional, sem deixar de ser um método robusto, preciso e estável.

Já em relação a sequência de resolução contida no *software*, conforme estabelecido por Ansys (1998) e comentado por Miguel (2015), há a seguinte ordem de resolução:

- 1) preferências - etapa de seleção do tipo de análise que o usuário irá realizar (térmica, estrutural, fluidodinâmica, etc);
- 2) pré-processamento - etapa na qual o usuário define a geometria, características dos materiais utilizados, propriedades e número de nós e estabelece as condições de contorno;
- 3) solução - etapa de execução das rotinas de cálculo. Nesta seção do programa as equações diferenciais inerentes aos elementos e ao tipo de análise selecionada são resolvidas numericamente, e
- 4) pós-processamento - etapa onde o usuário extrai as respostas que deseja obter do comportamento. É possível visualizar os resultados com gráficos de vetores e de contornos; gráficos de pressão e velocidade (ou vazão) em diferentes pontos da malha; gráfico de superfícies tridimensionais e linhas de fluxo e trajetórias de partículas.

3.4 Estudo da arte

Vários estudos já foram realizados com a utilização da fluidodinâmica computacional. Neste capítulo, será relatado casos aplicados que exemplificam a

importância e a diversidade de abordagens e aplicabilidade dessa ferramenta, estendendo-se não apenas ao ensino ou a área da Mecânica dos Fluidos, como também à pesquisa e à indústria de inúmeros campos de estudo.

Fernandes (2017), estudou a Dinâmica de Fluidos Computacional sob uma perspectiva educacional, tendo como foco as componentes curriculares de Mecânica dos Fluidos e Fenômenos de Transporte, dos cursos de Física e Engenharia, baseando-se na Teoria Andragógica de Knowles e da Teoria da Aprendizagem Significativa. Como resultados, constatou que a computação é uma ferramenta de ensino que, através da visualização, da manipulação dos dados e das condições de simulação, contribui para a construção do conhecimento, conforme já apontado por Medeiros e Medeiros (2002). Além disso, comprovou que os modelos computacionais focam em aspectos da natureza e facilitam a compreensão dos fenômenos físicos, como já citado por Heidemann, Araújo e Veit (2012).

Siqueira e Fontes (2018), publicaram uma análise sobre o impacto do emprego da simulação computacional no amadurecimento dos projetos de TCC do curso de Engenharia Mecânica da Universidade São Judas Tadeu (USJT). Segundo eles, com a aplicação dessa ferramenta nas disciplinas dos dois últimos anos da graduação, foi notado um enriquecimento não só no currículo, como também na sensibilidade física dos alunos, capacitando-os para os desafios reais e modernos do trabalho.

Moreira (2020), propôs a resolução de um escoamento de *Couette* como metodologia didática para apresentar aos estudantes o que se trata o CFD. Com essa abordagem, foi possível ver como os métodos numéricos são importantes para a análise moderna da Engenharia, principalmente na Engenharia Assistida por Computador, nos casos na qual a resolução analítica não é possível. Desse modo, os estudantes puderam conhecer a simulação computacional, podendo ter despertado o interesse para se aprofundarem nessa área.

Oliveira, Vieira e Damasceno (2011), aplicaram as técnicas da Fluidodinâmica Computacional para a predição e entendimento de fenômenos inerentes ao escoamento de fluidos através de medidores de vazão, como as Placas de Orifício e Tubos Venturi. Conforme os autores, devido a simulação, foi possível visualizar zonas mortas e obter perfis característicos do escoamento que, experimentalmente, não são possíveis de prever com precisão. Além disso, concluíram que o CFD se caracteriza como uma técnica confiável e de alta viabilidade, a qual permite economia de recursos humanos e físicos.

Bezerra (2018), usou a simulação numérica para a análise e determinação das características operacionais de bombas centrífugas e na previsão dos comportamentos de escoamento. Como conclusão, pôde-se verificar a importância dessa ferramenta computacional no projeto de bombas, uma vez que ela possibilita a obtenção das curvas características do equipamento, sem a necessidade de modelos experimentais, gerando economia de recursos financeiros e de tempo.

Rêgo (2017), estudou o fenômeno que rege o funcionamento do mancal escora e a lubrificação hidrodinâmica com o uso do *software Ansys Fluent* para a análise numérica computacional. Através desse trabalho, o autor constatou que a simulação CFD reproduziu as características do escoamento do fluido para as condições de lubrificação, sendo totalmente convergente com as formulações analíticas, mostrando-se uma ótima ferramenta para o estudo do tema.

Miguel (2015), utilizou a simulação CFD para analisar a cavitação em válvulas borboletas e os parâmetros envolvidos para a ocorrência desse problema. O estudo mostrou a importância desse método computacional para a elaboração de projetos que envolvam esse tipo de válvula; além de conseguir demonstrar com maestria a influência de características como pressão, temperatura e geometria do disco na cavitação.

Santos (2014), estudou o escoamento multifásico transiente, não-isotérmico e tridimensional de óleo, água e gás em dutos verticais com e sem vazamento, analisando a influência da rugosidade da tubulação e das dimensões do orifício do vazamento. Como conclusão, a simulação CFD se mostrou eficaz na avaliação da preponderância dos parâmetros e na aproximação com a realidade.

Além desses casos, Coelho (2009), Cavalcante (2017), Luna (2018) e Bavia Filho (2015) utilizaram a resolução numérica computacional para estudarem a fluidodinâmica do processo de resfriamento de grãos, da separação água/sólido de um hidrociclone, do desempenho de um sedimentador contínuo, e na análise de trocadores de calor, respectivamente. Desse modo, percebe-se a diversa gama de aplicações da simulação CFD, sua importância, recorrência e validação de sua utilização, mostrando o quanto relevante é o aluno ter conhecimento e contato com essa ferramenta.

3.5 Metodologia do Ganho de Aprendizagem

Hake (2002), acreditava na importância da Aprendizagem Ativa para a consolidação do conhecimento por parte dos estudantes, que deveriam ser os

responsáveis por construírem, passo a passo, o conhecimento. Ele escreveu um artigo no qual fundamenta, experimentalmente, o método de avaliação da aprendizagem de estudantes em cursos introdutórios de ciências. Baseado em enquetes realizadas com 6542 participantes de 62 disciplinas, em cursos de diversas instituições de ensino norte-americanas, ele comparou o desempenho dos estudantes no tocante ao ganho médio normalizado e a eficácia dessa metodologia para avaliar a aprendizagem.

Para isso, Hake utilizou uma equação simples, capaz de avaliar o quanto um aluno, envolvido em atividades de aprendizagem interativas, progrediu na compreensão de determinado assunto em particular. Essa expressão calcula o ganho médio normalizado $\langle g \rangle$, conforme descrito pela Equação (1) e a Equação (2).

$$\langle g \rangle = \frac{\% \langle \text{Ganho} \rangle}{\% \langle \text{Ganho} \rangle_{max}} \quad (1)$$

ou

$$\langle g \rangle = \frac{(\% \langle \text{pós} - \text{teste} \rangle - \% \langle \text{pré} - \text{teste} \rangle)}{100 - \% \langle \text{pré} - \text{teste} \rangle} \quad (2)$$

em que onde $\% \langle \text{Ganho} \rangle$ é a percentagem de aumento de acertos entre o pré-teste e o pós-teste; $\% \langle \text{pré} - \text{teste} \rangle$ é a percentagem de acertos do aluno individual ou da turma toda no pré-teste e $\% \langle \text{pós} - \text{teste} \rangle$ é a percentagem de acertos do aluno individual ou da turma toda no pós-teste.

Com uma análise estatística, baseada nesse grande grupo amostral, em seu artigo de 2002 ele obtém um fator de correlação de +0,02, um valor baixo, que representa a validade da metodologia. Assim, Hake tem uma justificativa experimental para utilizar $\langle g \rangle$ como uma medida comparativa da efetividade da proposta didática dentro de uma sala de aula e, desse modo, a caracteriza por ser uma boa ferramenta de avaliação do aprendizado.

4 ARTIGO CIENTÍFICO

SIMULAÇÃO CFD COMO PROPOSTA DE ENSINO À MECÂNICA DOS FLUIDOS: ESTUDO DE CASO PARA FENÔMENOS DE TRANSPORTE I DOS CURSOS DE ENGENHARIA QUÍMICA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS DA UNIPAMPA

Lucas Capello*

André Ricardo Felkl de Almeida**

Márcio Marques Martins***

RESUMO

Para reduzir os altos índices de evasão e retenção relacionados à Mecânica dos Fluidos, contidos na componente curricular de Fenômenos de Transporte, pretendeu-se com esse trabalho auxiliar o processo de aprendizagem dos discentes, com base na visualização dos comportamentos e no entendimento dos conceitos físicos relacionados ao assunto, obtidos pela simulação CFD e pelo *software Ansys Student*. Desse modo, através de oficinas *online*, apresentou-se estudos de caso referentes ao conteúdo programático de Fenômenos de Transporte I com atuais e ex discentes desta componente curricular, referente aos cursos de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Pampa. Obteve-se um Ganho de Aprendizagem de 19% e melhoria das notas referentes ao formulário de conhecimento, com valores entre 11,8 e 40%. Com base nas respostas qualitativas e quantitativas, validou-se o uso da simulação CFD como recurso metodológico para o ensino da fluidodinâmica.

Palavras-chave: Oficina. *Software. Ansys*. Fluidodinâmica.

ABSTRACT

In order to reduce the high dropout and retention rates related to Fluid Mechanics, contained in the curricular component of Transport Phenomena, this work was intended to help the students' learning process, based on the visualization of behaviors and the understanding of physical concepts related to the subject, obtained by CFD simulation and by Ansys Student software. Thus, through online shop classes, case studies were presented referring to the syllabus of Transport Phenomena I with current and former students of this curricular component, referring to the courses of Chemical Engineering and Food Engineering at Federal University of Pampa. There was a 19% Learning Gain and an improvement in the grades related to the knowledge form, with values between 11.8 and 40%. Based on qualitative and quantitative responses, the use of CFD simulation as a methodological resource for teaching fluid dynamics was validated.

Keywords: Shop Class. Software. Ansys. Fluidodynamics.

1 INTRODUÇÃO

A evasão e retenção de discentes dos cursos de engenharia é uma realidade preocupante que afeta instituições de ensino no país. Conforme dados do MEC (Ministério da Educação) de 2018, contidos no parecer CNE/CES n. 1/2019 (BRASIL, 2019), apenas 55,88% dos ingressantes dos cursos de Engenharia de instituições privadas e 46,29% de instituições públicas concluem a graduação. Esses, majoritariamente, levam cerca de 5 anos e meio a 6 anos e meio para se formarem, o que demonstra que ambos os índices de evasão e retenção nas Engenharias é uma realidade e uma preocupação.

Nas Engenharias, um exemplo desse problema é a componente curricular de Fenômenos de Transporte que, conforme apontado por Villela, Condé e Nunes (2018), ao analisaram os índices de reprovação e trancamento desta disciplina no curso de Engenharia de Produção da UFJF (Universidade Federal de Juiz de Fora), encontraram o pior resultado dentre as opções averiguadas, com um índice de repetência de 69,90% e 13% de trancamento.

Marczak *et al.* (2003), ao entrevistarem discentes e docentes do curso de Engenharia Química da UFRGS, concluíram que o aprendizado de Fenômenos de Transporte é uma atividade difícil devido a fatores como: necessidade de conhecimentos de cálculo vetorial, diferencial, integral e de física; não conciliação entre e prática; falta de compreensão dos termos e dos seus significados nas equações; entre outros. Ainda de acordo com eles, essa componente curricular é de suma importância nos cursos de Engenharia, principalmente em Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, por abranger conteúdos que serão utilizados em grande parte das disciplinas subsequentes, como Simulação de Processos e Operações Unitárias. Por isso, esses autores apontam que é imprescindível reduzir os índices de retenção e estudar os motivos que levam a isso.

Para diminuir a retenção, estimular os estudantes e acompanhar as mudanças que o uso da tecnologia tem trazido, muito tem se falado sobre novas metodologias e ferramentas de ensino (RODRIGUES, 2015). Desse modo, os *softwares* vêm sendo cada vez mais utilizados como, por exemplo, os programas de Simulação Numérica, que permitem a resolução de problemas complexos e a visualização e entendimento de casos da Engenharia (THIERS; CRUS, 2018).

Um exemplo de simulação numérica é a Dinâmica dos Fluidos Computacional (*Computational fluid dynamics* - CFD), um conjunto de técnicas matemáticas, numéricas e computacionais empregadas para fazer o estudo preditivo de Fenômenos de Transporte, apresentando-se como uma ferramenta de muita utilidade por permitir o acompanhamento e monitoramento de toda uma situação, como também uma possível previsão do comportamento de um determinado caso em análise (MARIANO, 2008; PIEROZAN, 2011; LAMINE; XIONG, 2013).

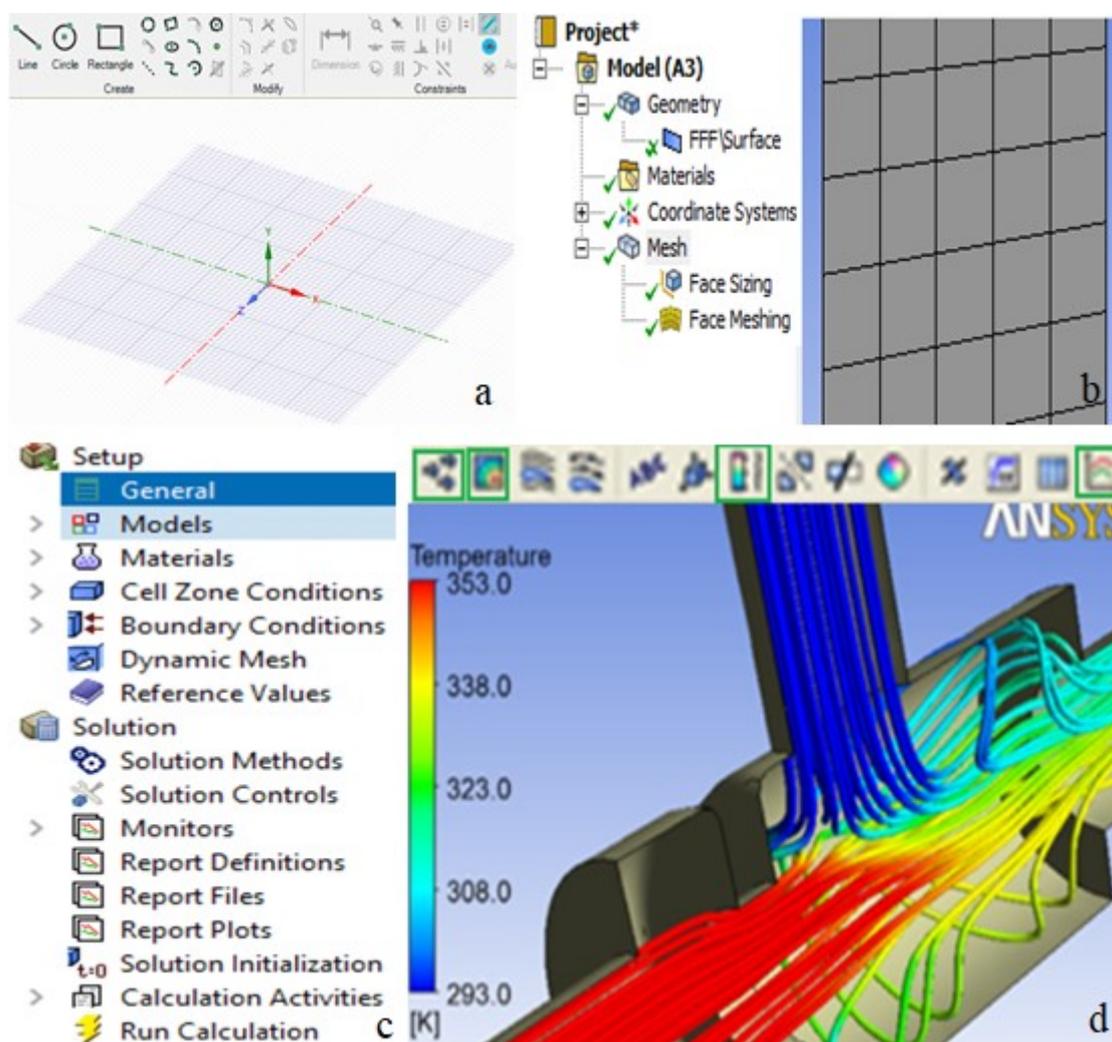
Um dos principais programas que trabalham com a simulação fluidodinâmica é o *Ansys Fluent*, que apresenta uma licença gratuita para estudantes, sendo bastante utilizado e mencionado na literatura (COELHO, 2009). Além do mais, é possível encontrar vários trabalhos que o utilizam, apresentando resultados positivos tanto em relação com a veracidade das soluções, como com a validação de seu uso no ensino de Mecânica dos Fluidos.

Com isso, com base nas metodologias ativas de aprendizagem e no período tecnológico em que estamos inseridos, viu-se importante a utilização de estudos de caso simulados como uma proposta metodológica de ensino-aprendizagem de Mecânica dos Fluidos, frente à importância deste conteúdo e aos altos índices de evasão e retenção apresentadas por esta. Deste modo, o desenvolvimento do presente trabalho visa à utilização do *Ansys Fluent* e da simulação CFD para elucidar conceitos e abordagens teóricas vistos na componente curricular de Fenômenos de Transporte I, contida no projeto pedagógico do curso de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos da UNIPAMPA (Universidade Federal do Pampa).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Como primeira ação, estudou-se como utilizar o *Ansys Fluent*, presente no *software Ansys Student 2021 R1 e 2020 R2*, através de vídeos disponíveis no *YouTube* e de um curso *online* da *Cornell University*. Nesta etapa estavam contidos os estudos de como traçar os objetos (Figura 1a), desenvolver a malha (Figura 1b), escolher os fluidos, as equações, condições de contorno, a tolerância e o erro aceitável das iterações (Figura 1c) e a plotagem de gráficos e análise de resultado (Figura 1d).

Figura 1: Passos para simulação de casos no *software Ansys Fluent*



Fonte: Autores (2021)

Com isso, identificaram-se os estudos de caso relacionados com o conteúdo programático da componente curricular de Fenômenos de Transporte I e que poderiam ser abordadas pela simulação. Sendo assim, decidiu-se trabalhar com balanço global de

massa e energia aplicado a um tubo de Venturi; balanço diferencial de massa e energia aplicados ao escoamento de *Couette* e de *Poiseuille*; e escoamento laminar e turbulento de fluidos. Estes foram descritos na apresentação de *slides*, juntamente com a contextualização da teoria dos seguintes assuntos: o que é um fluido; a diferença entre gases e líquidos; o que é um líquido newtoniano; quais são os tipos de escoamentos; os tipos de perfis de velocidade; as perdas de carga associadas aos sistemas; e a dedução das equações necessárias.

Através do e-mail institucional dos discentes do curso de Engenharia Química, foi enviado o pedido de participação em uma pesquisa referente à componente de Fenômenos de Transporte I, a qual se constituía por três *links* de formulários *online*, sendo um destinado para quem já foi aprovado nesta componente; um para quem está atualmente cursando a disciplina; e um para quem ainda não a estudou. O objetivo destes era verificar a opinião dos alunos sobre a dificuldade do conteúdo índice de retenção e o histórico de reprovações em Cálculo 1, 2 e 3; Física 1, 2 e 3 e Equações Diferenciais.

Além destes, elaborou-se um formulário para analisar a opinião dos participantes a cerca da oficina e o quão válido foi a utilização do *software* no aprendizado do conteúdo ministrado. Ainda, organizou-se um formulário de conhecimento com sete perguntas referentes aos conteúdos abordados na apresentação, o qual foi aplicado duas vezes, antes e após a oficina, para avaliar o ganho de aprendizagem (g), segundo o método de Hake (2002) e o aumento percentual na média das notas dos discentes e, pra tanto, utilizou-se as Equações 1 e 2, respectivamente.

$$\langle g \rangle = \frac{(\% \langle \text{pós} - \text{teste} \rangle) - (\% \langle \text{pré} - \text{teste} \rangle)}{100 - \% \langle \text{pré} - \text{teste} \rangle} \quad (1)$$

$$\% \text{melhoria} = \frac{\text{média nota pós teste} - \text{média nota pré teste}}{\text{média nota pré teste}} (100) \quad (2)$$

O cálculo da melhoria das notas foi realizado para cada uma das sete perguntas, enquanto o ganho de aprendizagem foi determinado apenas uma vez, com a relação da soma das pontuações dos discentes na sua totalidade. Além disto, usou-se a Equação 3 para identificar a probabilidade da validação da hipótese nula, ou seja, o resultado ser ao acaso, pelo teste t .

$$t = \frac{dp}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

no qual dp é o desvio padrão, expresso pela Equação 4.

$$dp = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (4)$$

sendo x_i os valores individuais, \bar{x} a média dos valores e n o número de valores, a amostra.

A oficina foi realizada duas vezes, sendo a primeira realizada com a participação de seis discentes de Engenharia Química da UNIPAMPA: um atual estudante de Fenômenos de Transporte I do semestre 2021.1 e cinco ex-alunos que já obtiveram aprovação na mesma. Estes expressaram seu interesse através de um formulário de inscrição, enviado por e-mail, o qual continha o link do *Meet* onde foi realizada a apresentação. A segunda realização foi oferecida para as atuais turmas da componente em questão referente aos cursos de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, sendo estabelecida como uma avaliação participativa, de acordo com o professor ministrante da mesma, André Ricardo Felkl de Almeida, também orientador deste TCC. O *link* do formulário de conhecimento para ser respondido previamente foi disponibilizado na sala de aula *online*, do *Google Classroom*, das turmas; enquanto o de resolução posterior à oficina e o de avaliação foram enviados no chat do *Google Meet*.

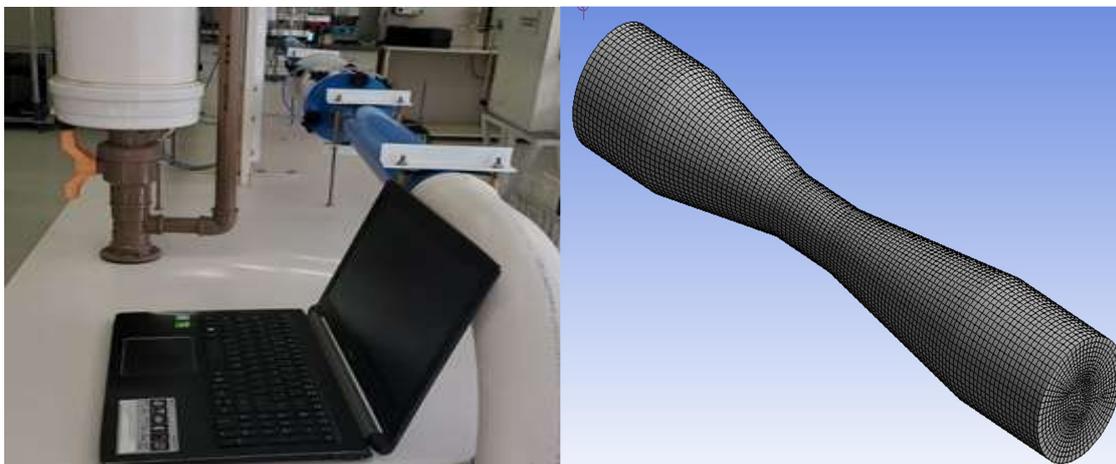
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Estudos de caso e resultados da simulação

3.1.1 Tubo de *Venturi*

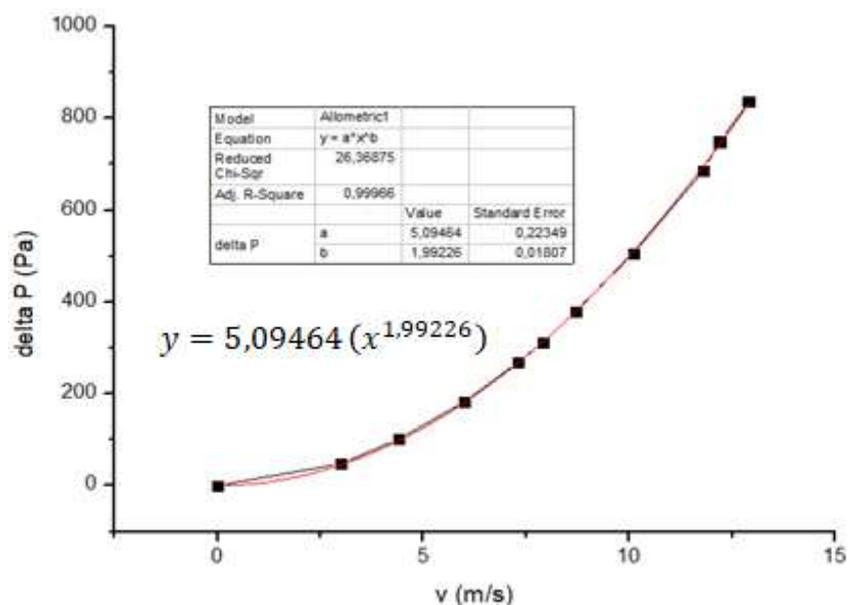
Para o tubo de *Venturi* utilizou-se as medidas de um exemplar contido na bancada de medidores de vazão MD006 da empresa Eco Educacional, presente no laboratório 1111 da UNIPAMPA Campus Bagé. Os dados da queda de pressão foram obtidos a partir de transdutores de pressão, adicionados ao módulo, cujos valores foram utilizados para traçar uma curva de calibração com as onze velocidades de escoamento analisados, entre 0 e 12,9 m/s. Através da equação de ajuste foi possível interpolar uma velocidade e comparar o resultado experimental com a simulação e com o valor teórico esperado. A Figura 2 representa o módulo que contém o medidor de vazão, cujas dimensões foram utilizadas na simulação; enquanto a Figura 3 traz o resultado da curva de calibração da queda de pressão com relação à velocidade de escoamento do ar.

Figura 2: Módulo e simulação do tubo de *Venturi*



Fonte: Autores (2021)

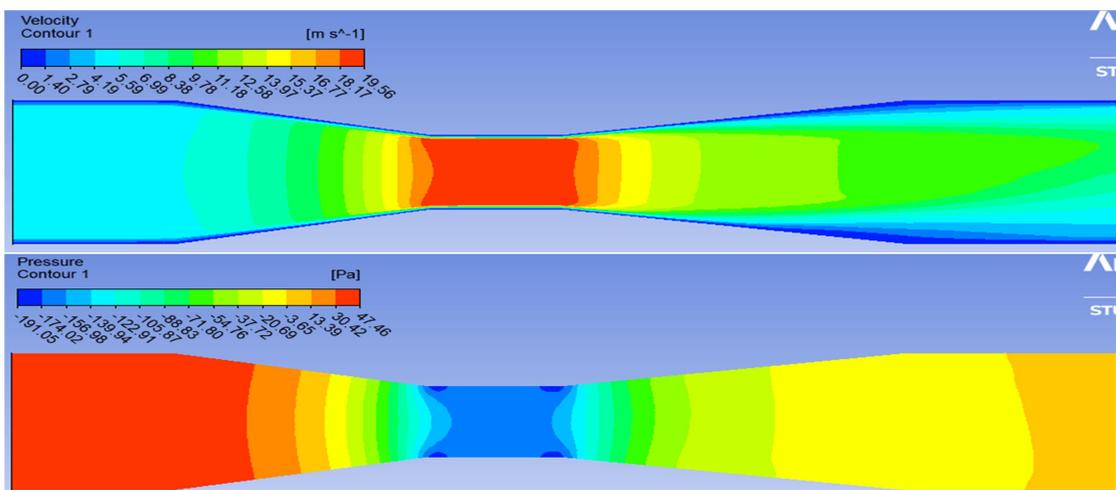
Figura 3: Curva de calibração e equação de ajuste



Fonte: Autores (2021)

Ao comparar o resultado teórico, experimental e simulado, foi possível perceber a semelhança dos resultados, o que valida a simulação realizada. Ao considerar uma velocidade média de escoamento de 5 m/s, obteve-se uma queda de pressão teórica de 126 Pa, um valor experimental de 125,8 Pa e um simulado de 125 Pa. Além da comparação dos resultados, para elucidar o comportamento fluidodinâmico e ajudar no entendimento e contextualização dos conceitos teóricos envolvidos, utilizou-se os gradientes de cores para demonstrar a variação de pressão e velocidade causada pela redução da área, conforme expresso na Figura 4.

Figura 4: Resultados obtidos pela simulação do tubo de Venturi

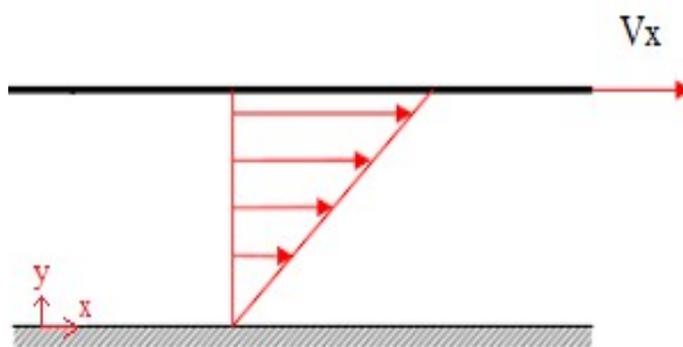


Fonte: Autores (2021)

3.1.2 Escoamento de *Couette*

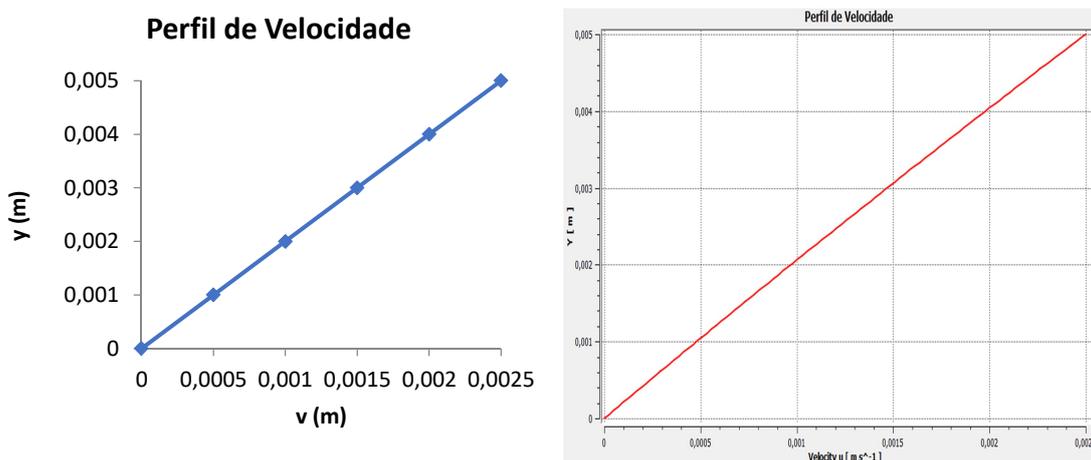
Para a elucidação do escoamento de *Couette* do caso descrito na Figura 5 aplicaram-se as hipóteses simplificadoras e as condições de contorno nas equações diferenciais de massa e energia para obtenção da expressão descritiva do perfil de velocidade formado. Estipulando valores, constatou-se a equivalência gráfica entre os métodos analítico e numérico, conforme é possível visualizar pela Figura 6.

Figura 5: Caracterização do escoamento de *Couette*



Fonte: Autores (2021)

Figura 6: Perfil de velocidade do escoamento de *Couette*



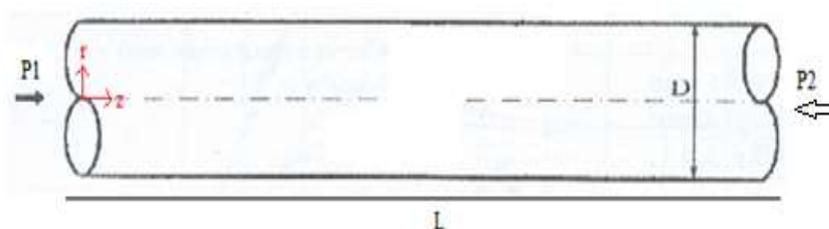
Fonte: Autores (2021)

3.1.3 Escoamento de *Poiseuille*

Para o escoamento de *Poiseuille*, descrito pela Figura 7, o perfil de velocidade foi comparado diretamente com a sobreposição das curvas obtidas de forma analítica e

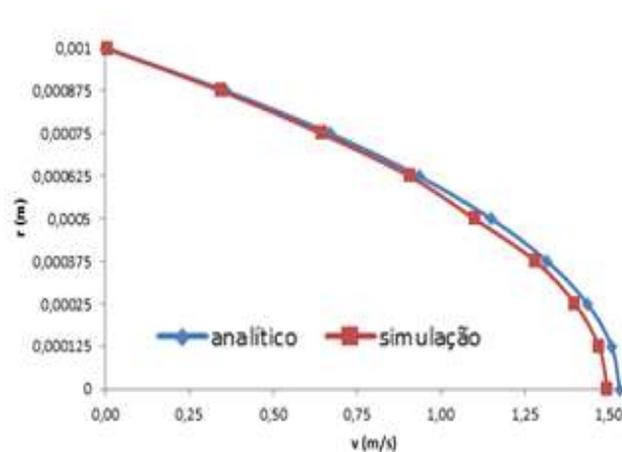
pela simulação, o qual pode ser observado na Figura 8. Além disto, com o uso de vetores e dos padrões de cores, pôde-se observar o desenvolvimento do perfil de velocidade ao longo da tubulação e a formação da região hidrodinâmica completamente desenvolvida, conforme expresso pela Figura 9.

Figura 7: Escoamento de *Poiseuille*



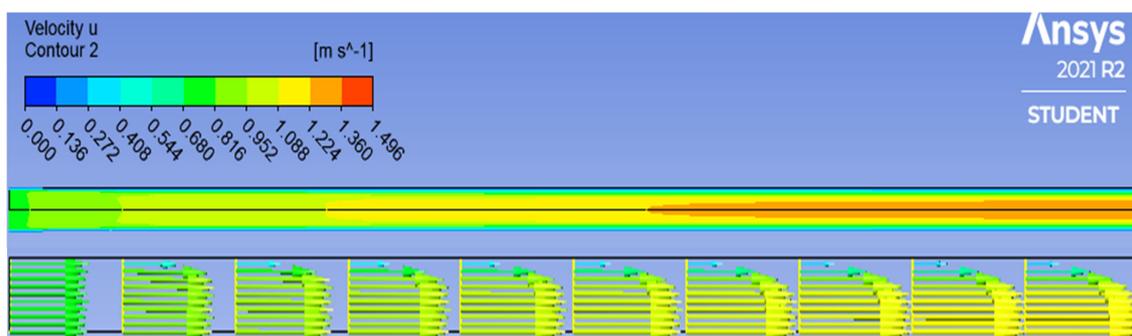
Fonte: Autores (2021)

Figura 8: Perfil de velocidade do escoamento de *Poiseuille*



Fonte: Autores (2021)

Figura 9: Perfil de velocidade ao longo da tubulação

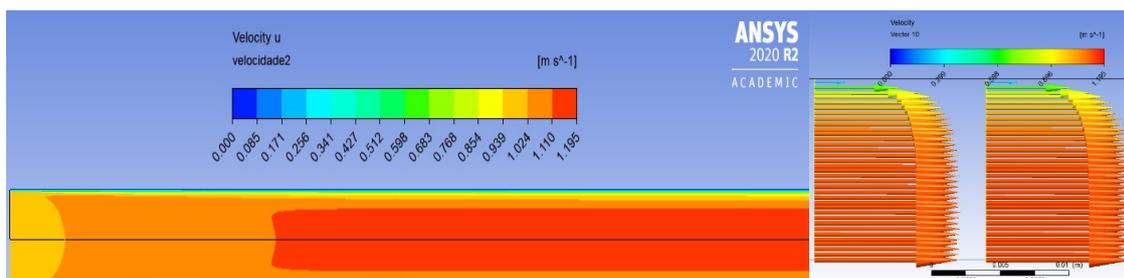


Fonte: Autores (2021)

3.1.4 Regime Turbulento

Para demonstrar a diferença do desenvolvimento hidrodinâmico e do perfil de velocidade entre o regime laminar e turbulento, criou-se um caso com um Reynolds de 1.10^4 . A Figura 10 demonstra os resultados deste caso, do qual percebe-se o contraste destes com os apresentados pela Figura 9.

Figura 10: Resultados do caso turbulento



Fonte: Autores (2021)

3.2 Resultados dos formulários de sondagem

O formulário de preposições e expectativas sobre Fenômenos de Transporte I, destinados a discentes que nunca cursaram a componente, teve apenas três respostas, sendo que em relação à pergunta aberta “Você já ouviu alguém falar sobre essa disciplina (Fenômenos de Transporte I)? Se sim, o que você sabe sobre ela e/ou o que te falaram sobre ela?” destaca-se a resposta “Sim, sempre falaram sobre ser uma disciplina difícil”. Sobre os questionamentos em relação à reprovação e quais disciplinas cursadas que julgaram ser difíceis, ficou evidente o destaque para as componentes curriculares de cálculo e de física.

A sondagem sobre a opinião dos atuais estudantes de Fenômenos de Transporte I contou com doze participantes, no qual se pontua que 25% destes (3 alunos) consideram esta componente como muito difícil e outros 25% apontam esta como uma das matérias mais difíceis já cursadas. Deste público alvo, todos estão cursando a disciplina pela primeira vez, com exceção de um, que está matriculado pela terceira vez.

Em relação às principais dificuldades percebidas no estudo e aprendizagem do conteúdo por este público alvo, o Quadro 1 traz as respostas em destaque,

Quadro 1: Dificuldades relatadas pelos atuais estudantes da componente

Comentário 1	Assimilar os balanços globais
Comentário 2	A junção das matérias tipo equações que não entendo nada
Comentário 3	Complexidade dos exercícios
Comentário 4	Deduzir as equações. Além dos conteúdos muito complexos
Comentário 5	Questões interdisciplinares com fenômenos de transporte

Fonte: Autores (2021)

o que evidencia a complexidade do conteúdo, relacionado com a necessidade de conhecimentos de cálculo, física e equações diferenciais. Isto vai ao encontro à pesquisa feita por Marczak *et al.* (2003), apontada no referencial teórico, comprovando a relevância deste ponto. Além disso, foi possível perceber que apenas cinco discentes não reprovaram nestas componentes iniciais e que metade deles reprovou em Física I, 41,7% reprovaram em Cálculo II e 25% em Física II e Cálculo I, o que pode demonstrar uma pendência e/ou maior dificuldade nestas áreas do conhecimento, sendo um reflexo no aprendizado de Fenômenos de Transporte I.

Em relação aos discentes que já cursaram e obtiveram aprovação na componente de Fenômenos de Transporte I, participaram dezesseis graduandos, na qual 12,5% (2 participantes) consideraram uma disciplina muito difícil e outros 12,5% consideraram a matéria mais difícil já cursada. Destes, dois alunos reprovaram uma vez, e dois reprovaram duas vezes até serem aprovados.

O Quadro 2 demonstra às dificuldades sobre o estudo e aprendizagem do conteúdo expressas por estes estudantes.

Quadro 2: Dificuldades relatadas por quem já foi aprovado na componente

(continua)

Comentário 1	Aprender sobre o perfil de escoamento e condições de contorno
Comentário 2	Entender os balanços, muitas variáveis, era difícil "enxergar" o que estava acontecendo então tinha dificuldade para entender
Comentário 3	FT I é uma das primeiras disciplinas específicas do curso. O grau de aprofundamento é grande e por muitas vezes a base do conhecimento não tem estrutura suficiente para conformar o aprendizado, o que torna a disciplina bem complexa

Quadro 2: Dificuldades relatadas por quem já foi aprovado na componente

(conclusão)

Comentário 4	Entender o mecanismo e as leis físicas por detrás dos balanços
Comentário 5	Entender de onde saíam as equações e o que significavam os termos e a identificação do problema em relação às hipóteses simplificadoras e as condições de contorno

Fonte: Autores (2021)

isto elucidada a dificuldade da absorção do conteúdo, principalmente relacionada à observação do escoamento e do entendimento das equações e das variáveis nelas contidas. Estes pontos também são destacados na pesquisa de Marczak *et al.* (2003) e justificam a importância da proposta deste trabalho em usar o *software* para visualização da fluidodinâmica; além de demonstrar que os tópicos abordados na apresentação da oficina estão alinhados com a opinião e necessidade dos alunos.

Ainda, é possível ver que pelo menos 25% dos participantes reprovaram em uma ou mais disciplinas interconectadas com o aprendizado de Fenômenos de Transporte I (Física I, II e III, Cálculo I, II e III e Equações Diferenciais) o que pode demonstrar um reflexo do aprendizado da fluidodinâmica com o ciclo inicial.

3.3 Resultados das oficinas

3.3.1 Primeira realização

Dentre uma escala linear de 0 (péssima) a 5 (ótima), 100% dos participantes avaliaram a oficina com conceito máximo (5). Sobre o estudo dos fluidos com a utilização do *software* de simulação, obtiveram-se cinco avaliações com o conceito máximo (5 - de muito valia) e uma com conceito 4.

Em relação à pergunta aberta “De que modo você acredita que a simulação ajudou no aprendizado dos conteúdos abordados pela oficina?” destacam-se as respostas contidas no Quadro 3,

Quadro 3: *Feedback* 1 sobre como a simulação ajudou no aprendizado

(continua)

Comentário 1	A visualizar os fenômenos com mais clareza
--------------	--

Quadro 3: *Feedback* 1 sobre como a simulação ajudou no aprendizado

(conclusão)

Comentário 2	Visualizar o escoamento de uma forma dinâmica ajuda muito no aprendizado do conteúdo
Comentário 3	É muito bom e relevante conseguir relacionar a teoria com a realidade, e assim, vendo a simulação fica mais entendível

Fonte: Autores (2021)

demonstrando que a visualização do escoamento auxilia no entendimento do estudo da fluidodinâmica, conforme proposto e esperado neste trabalho

Já o Quadro 4 diz respeito ao questionamento “Você acredita que a simulação possa ser útil para o ensino de demais disciplinas? Se sim, como?”.

Quadro 4: *Feedback* 1 sobre utilização da simulação em demais disciplinas

Comentário 1	Mecânica dos fluidos e Operações unitárias
Comentário 2	Sim, Operações unitárias e na simulação de operações
Comentário 3	Sim, acredito que se todos FT principalmente apresentassem métodos mais visuais ajudaria muito tanto no aprendizado quanto na hora de solucionar exercícios ou em aplicações diversas

Fonte: Autores (2021)

o que mostra a aceitação dos alunos e a possibilidade de aplicação nos Fenômenos de Transporte II e III (transporte de massa e de calor) e na aplicação destes conceitos nas Operações Unitárias.

3.3.2 Segunda realização

Contou-se com a participação de 56 discentes dos cursos de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos da UNIPAMPA que estavam cursando a componente de Fenômenos de Transporte I. Destes, 47 (83,9%) avaliaram a oficina com conceito máximo (5) e 9 (16,1%) com 4, o que demonstra a validação da mesma e a aprovação dos discentes. Em relação à utilização do *software* de simulação em questão no estudo dos fluidos, numa escala de 0 (de pouca valia) a 5 (de muita valia), obtiveram-se 39 respostas (69,6%) para o valor 5, 14 (25%) para o conceito 4, e 3 (5,4%) para o 3,

mostrando que o uso dessa ferramenta tecnológica foi considerada uma alternativa importante e valiosa para o ensino da Mecânica dos Fluidos.

Com relação ao formulário de avaliação da oficina, quando perguntados se a simulação ajudou no aprendizado dos conteúdos abordados, obtiveram-se respostas bem positivas, conforme é destacado no Quadro 5,

Quadro 5: *Feedback 2* sobre como a simulação ajudou no aprendizado

Comentário 1	Sem dúvida a visualização do processo faz a diferença. Eu sempre busco imaginar o que está acontecendo e pra mim facilita bastante
Comentário 2	Foi mais fácil de entender do que as aulas normais
Comentário 3	É possível compreender com mais facilidade o conteúdo abordado
Comentário 4	O método aplicado em modelo de oficina, é útil e eficaz, pois influencia que tenhamos contato direto com o que é feito na prática, achei muito interessante a metodologia aplicada pelo Aluno em seu TCC, acredito que mais alunos vão aplicar essa maneira para os próximos semestres
Comentário 5	Acredito que tenha ajudado, pois nos mostra de um modo diferente os conteúdos de aula, tornando mais palpável a teoria vista em aula
Comentário 6	Toda vez que vemos uma aplicação mais prática e dinâmica ajuda a entendermos melhor o conteúdo, acho que foi exatamente isso que mais nos ajudou

Fonte: Autores (2021)

demonstrando que a visualização da dinâmica dos fluidos traz grandes benefícios, ajudando o aluno a ter um contato mais prático, intuitivo e realístico com o conteúdo, trazendo-o mais próximo com o seu entorno e facilitando a sua compreensão.

Ainda, o Quadro 6 demonstra a opinião dos discentes sobre o questionamento “Você acredita que a simulação possa ser útil para o ensino de demais disciplinas? Se sim, como?”

Quadro 6: *Feedback 2* sobre utilização da simulação em demais disciplinas

Comentário 1	pode ser útil para outras disciplinas, a fim de trazer lado mais "profissional"
Comentário 2	em disciplinas como laboratórios e também em outras para que possamos ver como os <i>softwares</i> são importantes para se ter um melhor conhecimento
Comentário 3	Sim, as demais disciplinas de fenômenos de transportes, mecânica de fluidos aplicada e operações unitárias
Comentário 4	Sim, pois esses processos de simulação e modelagem são coisas que provavelmente vamos utilizar mais a frente, e ter esse conhecimento e praticar mais em algumas disciplinas pertinentes seria interessante, ter <i>softwares</i> que possam mostrar o comportamento de alguma coisa apenas modificando os parâmetros na minha opinião é um método válido de aprendizado

Fonte: Autores (2021)

evidenciando a validação de seu uso e reforçando sua aplicação em demais componentes curriculares como Fenômenos de Transporte II e III, Operações Unitárias e Mecânica dos Fluidos, conforme obtido também no feedback da primeira realização.

O percentual de melhoria das notas dos alunos em cada uma das sete questões foi calculado pela Equação 1, de acordo com a resposta, estabelecida pelo nível de contemplação e conforme os pesos estipulados pelos autores. A descrição das perguntas contidas no formulário de avaliação e do gabarito de referência, com os respectivos graus de apreciação, encontram-se no Apêndice A.

Além da melhoria, que relaciona a média aritmética das notas obtidas pelos 56 alunos antes e após a ocorrência da oficina, foi mensurada a porcentagem de respostas em relação a cada segmento de resultado possível, com base no grupo amostral. Esta pôde servir, por exemplo, para analisar o percentual de alunos que obtiveram nota 0 ou 1. A análise dos resultados referentes à primeira pergunta pode ser observada na Tabela 1,

Tabela 1: Resultados obtidos da análise referente à Pergunta 1

	Antes	Após
Média	0,4000	0,5600
Desvio Padrão	0,2754	0,2739
% nota 0	9,3%	0,0%
% nota 0,2	38,9%	29,1%
% nota 0,3	1,9%	1,8%
% nota 0,5	29,6%	14,5%
% nota 0,7	9,3%	38,2%
% nota 0,8	3,7%	3,6%
% nota 1	7,4%	12,7%
	Melhoria	40,0

Fonte: Autores (2021)

o qual pode-se identificar uma melhoria de 40,0% e que, enquanto antes da oficina 9,3% dos participantes não haviam respondido nada ou errado, após a realização desta todos acertaram pelo menos uma parte da resposta. Ainda, enfatiza-se o aumento do número de alunos que conseguiram nota 0,7 ou 1, demonstrando que conseguiram obter conhecimento sobre a aplicação da força tangencial na deformação das camadas do fluido. Por sua vez, os resultados da Pergunta 2 são expressos pela Tabela 2,

Tabela 2: Resultados obtidos da análise referente à Pergunta 2

	Antes	Após
Média	0,3510	0,4818
Desvio	0,2228	0,2399
% nota 0	7,7%	3,6%
% nota 0,25	63,5%	29,1%
% nota 0,5	9,6%	47,3%
% nota 0,75	19,2%	10,9%
% nota 1	0,0%	9,1%
	Melhoria	37,3%

Fonte: Autores (2021)

sendo possível identificar uma melhoria da nota de 37,3% e o aumento de alunos que validaram 100% e 50% da resposta. Isto também pôde ser observado na pergunta 3, conforme expresso pela Tabela 3, porém de forma menos acentuada,

Tabela 3: Resultados da Pergunta 3

	Antes	Após
Média	0,5059	0,5706
Desvio	0,2618	0,2265
% nota 0	7,8%	2,0%
% nota 0,2	0,0%	0,0%
% nota 0,3	25,5%	15,7%
% nota 0,5	37,3%	49,0%
% nota 0,7	15,7%	15,7%
% nota 0,8	2,0%	3,9%
% nota 1	11,8%	13,7%
	Melhoria	12,8%

Fonte: Autores (2021)

pois percebe-se uma melhoria de 12,8% e uma queda do número de respostas avaliadas como 0, no valor absoluto de 6,8%. Já para a pergunta 4, houve uma melhoria de 15,8%, com uma redução absoluta de 7,4% de notas 0, de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4: Análise da Pergunta 4

	Antes	Após
Média	0,6226	0,7212
Desvio	0,3086	0,2696
% nota 0	9,4%	2,0%
% nota 0,5	56,6%	51,0%
% nota 1	34,0%	47,1%
	Melhoria	15,8%

Fonte: Autores (2021)

A Pergunta 5 contou com uma melhoria de 11,8% e mostrou um alto índice de conhecimento sobre o assunto por parte dos discentes antes mesmo dos esclarecimentos

da oficina, uma vez que a média inicial era de 0,7642 e 60,4% das notas avaliadas como 1. Entretanto, percebe-se que houve um aumento de respostas que contemplavam 100% do total esperado, de 60,4% para 72,7% e, com isso, um aumento da média. Isto pode ser evidenciado com a ajuda da Tabela 5.

Tabela 5: Resultados relacionados à Pergunta 5

	Antes	Após
Média	0,7642	0,8545
Desvio	0,3193	0,2212
% nota 0	5,7%	1,8%
% nota 0,5	34,0%	25,5%
% nota 1	60,4%	72,7%
	Melhoria	11,8%

Fonte: Autores (2021)

Por outro lado, a Pergunta 6 apresentou médias baixas tanto antes como depois da realização da oficina, conforme demonstrado na Tabela 6. Isto ocorreu devido ao não entendimento do enunciado, podendo até ser relacionado com a escrita do mesmo. Percebeu-se isso nas respostas, que não focavam no perfil de velocidade, nas equações envolvidas e condições de contorno e, principalmente, no fato do escoamento turbulento ser semi-empírico, não tendo resolução analítica das equações diferenciais, como no caso do regime laminar. Em contrapartida, os participantes descreverem sobre a visualização do percurso com corante e do número de Reynolds, o que era esperado na terceira pergunta, e que inclusive foi assim respondida por parte deles naquela questão.

Tabela 6: Resultados da Pergunta 6

(continua)

	Antes	Após
Média	0,1373	0,1569
Desvio	0,2842	0,2722
% nota 0	78,4%	56,9%
% nota 0,2	3,9%	33,3%
% nota 0,4	7,8%	3,9%

Tabela 6: Resultados da Pergunta 6

		(conclusão)
% nota 0,6	2,0%	0,0%
% nota 0,8	3,9%	0,0%
% nota 1	3,9%	5,9%
Melhoria		14,3%

Fonte: Autores (2021)

Do mesmo modo que a Pergunta 5, a Pergunta 7 mostrou um alto grau de resposta antes mesmo dos esclarecimentos da oficina, com uma nota de 0,8269. Porém, após a explanação sobre o assunto, a média subiu para 0,9283, alavancada, principalmente, pela redução das avaliações 0, que foi de 11,5% para 3,8%. Os dados contidos na Tabela 7 corroboram essa observação.

Tabela 7: Dados referentes à Pergunta 7

	Antes	Após
Média	0,8269	0,9283
Desvio	0,3361	0,2222
% nota 0	11,5%	3,8%
% nota 0,4	1,9%	1,9%
% nota 0,6	11,5%	5,7%
% nota 1	75,0%	88,7%
% melhoria		12,3%

Fonte: Autores (2021)

Com o somatório das notas dos 56 participantes em cada uma das sete perguntas, tanto do formulário de avaliação antes da aplicação da oficina como após, foi possível avaliar o ganho de aprendizagem (g), descrita e estabelecida por Hake, conforme Equação 2, expressa pela Tabela 8.

Tabela 8: Cálculo do Ganho de Aprendizagem

Pergunta	1	2	3	4	5	6	7	Total	%/total
soma das notas									
individuais antes da oficina	21,6	18,25	25,8	33	40,5	7	43	189,15	48,25%
soma das notas									
individuais após oficina	30,8	26,5	29,1	37,5	47	8	49,2	228,1	58,19%
soma máxima das notas individuais	56	56	56	56	56	56	56	392	51,75%
Ganho Normalizado de Aprendizagem (g)									19,20%

Fonte: Autores (2021)

Além disso, pôde-se calcular o teste t para verificar a probabilidade do resultado do ganho de aprendizagem (g) ser devido ao acaso (hipótese nula). Pela Equação 3 obteve-se um valor t de 14,6. Com uma amostra de 56 indivíduos, tem-se um t crítico entre 3,551 e 3,460. Como o valor t calculado é muito maior que o t crítico ($t \gg t_c$) é possível desconsiderar a hipótese nula, pois, neste caso, a chance do g ser por acaso é menor que 0,01%.

Por fim, constatou-se que o cálculo do ganho de aprendizagem não apresentou um valor alto devido as poucas respostas avaliadas com pontuação máxima e às baixas notas referentes, principalmente, à Pergunta 6. Além disso, a existência dos pesos, no qual a nota máxima dependia contemplar todas as partes da resolução, teve um grande impacto, uma vez que na literatura esse método é usado para constatação de certo ou errado. Acredita-se que o fato da pontuação máxima depender de vários graus de resposta e de diferentes perspectivas tenha afetado diretamente a soma das notas que, quanto mais distante do máximo teórico (56), mais se afastava do ganho de 100%.

Porém, a análise da melhoria da nota média dos discentes em cada pergunta expressa resultados mais animadores, na faixa de 11,8 a 40%, e enfatiza o aumento percentual de notas de maior valor, como 0,75 e 1, e a redução de notas 0, mostrando um aumento de conhecimento. Mas é na avaliação da oficina em que fica claro a validação da proposta, devido ao fato dos resultados simulados possibilitarem maior aproximação da teoria com a realidade e permitirem a visualização do escoamento, das zonas de desenvolvimento e das implicações das condições de contorno. Estes relatos

expressos pelos discentes vão ao encontro da proposta deste trabalho, que busca a resolução dos problemas identificados tanto no referencial teórico, quanto nos formulários de sondagem, de acordo com os próprios estudantes que estão cursando ou já cursaram Mecânica dos Fluidos.

4 CONCLUSÃO

A proposta deste trabalho mostrou-se pertinente à necessidade dos discentes frente à elucidação dos conceitos e da visualização do comportamento hidrodinâmico relacionados ao estudo da Mecânica dos Fluidos. Isto ficou claro durante a análise do formulário de sondagem, o qual demonstrou a dificuldade da absorção deste conteúdo devido ao nível de abstração, interdisciplinaridade e complexidade presente no processo de aprendizagem de Fenômenos de Transporte I. Além disso, pôde-se perceber que estes apontamentos levantados pelos participantes da oficina condizem com o que foi informado pelas pesquisas encontradas na literatura, mostrando a veracidade destas.

Ainda com base nas respostas dos formulários, conclui-se a validação do uso da simulação CFD como recurso metodológico para o ensino da fluidodinâmica, visto que 83,3% e 69,6% dos participantes da oficina, na primeira e na segunda realização, respectivamente, avaliaram esta proposta com conceito máximo (5 – de grande valia). Já para a análise quantitativa, pelo método de Hake, obteve-se um Ganho de Aprendizagem de 19%, sendo este valor baixo devido à escolha de pesos e a baixa quantidade de notas 1. Porém, através da melhoria percentual das notas, percebeu-se resultados mais expressivos, entre 11,8 e 40% e, junto com a redução de valores 0 e o aumento de discentes com pontuações maiores (0,75 e 1), notou-se aprimoramento nas respostas e maior absorção e compreensão do conteúdo.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Conselho Nacional de Educação. Parecer CNE/CES n. 1, de 23 de janeiro de 2019. **Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia**. Brasília: Diário Oficial da União, 23 abr. 2019. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/docman/marco-2019-pdf/109871-pces001-19-1/file>. Acesso em: 14 mar. 2021.

COELHO, M. P. **Simulação do processo de resfriamento de grãos usando a mecânica dos fluidos computacional**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/3548/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2021.

FIALHO, N. N.; MATOS, E. L. M. A arte de envolver o aluno na aprendizagem de ciências utilizando *softwares* educacionais. **Educar em Revista**, Curitiba, n. especial 2, p. 121-136, 2010. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-40602010000500007. Acesso em: 13 abr. 2021.

HAKE, R. R. Assessment of student learning in introductory science courses. **KAL Roundtable on the Future**. Duke University, p. 1-3. 2002. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Assessment-of-Student-Learning-in-Introductory-Hake/328087bfbf4d36e3aac9f04f3e1f362a2e9ed410>. Acesso em: 19 abr. 2021.

LAMINE, S.; XIONG, D. Guinean environmental impact potential risks assessment of oil spills simulation. **Ocean Engineering**, Amsterdam, v. 66, p. 44-57, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0029801813001509>. Acesso em: 17 abr. 2021.

MARCZAK, L. *et al.* Uma nova metodologia para o ensino das disciplinas de Fenômenos de Transporte. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 31., 2003, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: COBENGE, 2003.

MARIANO, G. C. **Estudo do escoamento imiscível água/óleo mediante experimentação em célula de Hele-Shaw e simulação CFD**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina. Pós-Graduação de Engenharia Química, Florianópolis, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/91697/254624.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20 abr. 2021.

PIEROZAN, M. **Validação de modelo para predição do coeficiente de descarga de um tanque esférico por dinâmica de fluidos computacional**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/36918>. Acesso em: 20 abr. 2021.

RODRIGUES, G. S. **Análise da Abordagem Ativa no Processo de Ensino-Aprendizagem na Disciplina de Planejamento de Transportes**. Dissertação (Mestrado em Transportes) – Universidade de Brasília, Brasília, 2015. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/18686/1/2015_%20Glaucem%3%a1riadaSilvaRodrigues.pdf. Acesso em: 20 abr. 2021.

THIERS, R. V.; CRUZ, J. M. V. **Uma introdução ao estudo de simulação numérica como instrumento de gerenciamento de reservatórios**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia do Petróleo) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10023664.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2021.

VILLELA, L. B.; CONDÉ, U. D. C.; NUNES, R. C. P. Disciplinas básicas do curso de Engenharia de Produção como possível causa de retenção e evasão. *In*: ENCONTRO MINEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 14., 2018, Juiz de Fora. Anais [...]. Juiz de Fora: EMEPRO, 2018. Disponível em: <https://www.ufjf.br/getproducao/files/2018/06/Disciplinas-b%3%a1sicas-do-curso-de-Engenharia-de-Produ%3%a7%3%a3o-como-poss%3%advel-causa-da-reten%3%a7%3%a3o-e-evan%3%a3o.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2021.

APÊNCICE A

1) O que é um fluido e qual sua principal característica?

Parte da Resposta	Peso
Líquidos e gases.	30%
Não suportam tensões cisalhantes (ou de cisalhamento).	50%
Substâncias capazes de escoar/ tomar a forma do recipiente.	20%

2) Qual a diferença entre gases e líquidos e o que isso implica nos cálculos?

Parte da Resposta	Peso
A massa específica é considerada constante para líquidos nos cálculos.	50%
Gás apresenta menor interação intermolecular e por isso as moléculas estão mais distantes que a dos líquidos.	25%
Gás consegue ser comprimido (compressível), enquanto líquido é incompressível.	25%

3) Diferencie escoamento laminar de turbulento. Como podemos identificar e quantificar qual o tipo de regime de escoamento?

Parte da Resposta	Peso
Podemos visualizar através do comportamento do escoamento, através do fluxo das camadas de fluido.	20%
Podemos quantificar através do número de Reynolds.	20%
Escoamento laminar $Re < 2400$ Escoamento Turbulento $Re > 4000$	30%

Escoamento laminar apresenta maior organização, lâminas de fluxo definidos enquanto escoamento turbulento apresenta turbilhonamentos, uma maior desorganização.	30%
---	-----

4) O que significa regime permanente? O que isso afeta nos cálculos?

Parte da Resposta	Peso
Regime estacionário, cujas propriedades independem do tempo - Os valores são constantes ao longo do tempo.	50%
As propriedades e integrais que dependem do tempo são desconsideradas da equação.	50%

5) O que é um tubo de Venturi/Qual sua utilidade? Qual equação utilizamos para relacionar suas energias (Pressão x Velocidade) ?

Parte da Resposta	Peso
Dispositivo utilizado para medição de vazão de fluidos em tubulações.	50%
Equação Global de Energia - Equação de Bernoulli.	50%

6) Como podemos analisar e desenhar o perfil de velocidade de um escoamento laminar? O mesmo vale para um escoamento turbulento?

Parte da Resposta	Peso
Através do balanço diferencial de energia (e de massa).	20%
O escoamento laminar podemos usar equação diferencial e tem resultado analítico.	40%
O escoamento turbulento não tem resultado analítico, apenas semi-empírico.	40%

7) O que são perdas de carga e por que devemos considerá-las? Quais são os dois tipos?

Parte da Resposta	Peso
São perdas de energia e precisamos levar em consideração para termos um balanço energético adequado e para dimensionamento adequado de bombas e tubulações.	60%
Perda de carga localizada e distribuída.	40%

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este trabalho percebeu-se que Fenômenos de Transporte é uma componente curricular obrigatória para os cursos de Engenharia do país e que é fundamental, principalmente, para os cursos de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, por abranger conteúdos que serão usados em disciplinas subsequentes, como Simulação de Processos e Operações Unitárias. Entretanto, devido ao alto nível de abstração, interdisciplinaridade e complexidade existente no estudo da fluidodinâmica, apresenta altos índices de evasão e retenção.

Com base no formulário de sondagem, tanto os atuais como os ex-estudantes de Fenômenos de Transporte I dos cursos de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos da UNIPAMPA a caracterizaram como uma disciplina difícil. Isto, segundo eles, é devido à necessidade de conhecimentos interdisciplinares, como de cálculo, física e equações diferenciais, pela abstração dos conceitos e não conciliação entre teoria e prática. Do mesmo modo, Marczak *et al.* (2003) concluíram essas dificuldades em suas pesquisas, o que confirma a problemática expressa neste trabalho e valido o objetivo proposto.

Por meio do uso dos gráficos e gradientes de cores, obtidos pela simulação com o *Ansys Fluent*, pôde-se visualizar os escoamentos, bem como suas regiões característicos e seus comportamentos. Além disso, de acordo com os discentes, a oficina os ajudou a observar o fluxo dos fluidos de forma mais dinâmica, a relacionar a teoria com a realidade e compreender o conteúdo com maior facilidade. Desse modo, conclui-se que o objetivo foi concluído e que a proposta foi bem recebida como uma metodologia de ensino-aprendizagem.

Por fim, através da análise quantitativa, constatou-se melhoria nas médias das sete questões, com valores entre 11,8 e 40% e redução de valores 0 e aumento de discentes com pontuações superiores. Ainda, calculou-se um Ganho de Aprendizagem de 19%, sendo este valor baixo devido à escolha de pesos e a baixa quantidade de notas 1 e, por isso, recomenda-se o uso desta metodologia avaliativa com respostas de certo ou errado, sem divisão ponderal.

REFERÊNCIAS

ACCARO, A.; FRANCA, M.T.A.; JACINTO, P. A. Fatores Associados à Evasão no Ensino Superior Brasileiro: um estudo de análise de sobrevivência para os cursos das áreas de Ciência, Matemática e Computação e de Engenharia, Produção e Construção em instituições públicas e privadas. **Estud. Econ**, São Paulo, v. 49, n. 2, p. 337-373, 2019. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-41612019000200337&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 17 mar. 2021.

ANDERSON, J. D. **Computational fluid dynamics: Basics with applications**. New York: McGraw-Hill, 1995. 547 p.

ANGELO, E; BARRIOS, D. B. Utilização da dinâmica dos fluidos computacional na complementação do ensino da disciplina fenômenos de transporte. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 34., 2006, Passo Fundo. **Anais [...]**. Passo Fundo: COBENGE, 2006.

ANSYS. Basic analysis procedures, version 5.5. 2. ed., Houston: Swanson Analysis Systems, Inc., 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15827: Válvulas industriais para instalações de exploração, produção, refino e transporte de produtos de petróleo - Requisitos de projeto e ensaio de protótipo**. Rio de Janeiro, 2007.

BARBOSA, E. F.; MOURA, D. G. Metodologias ativas de aprendizagem no ensino de engenharia. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND TECHNOLOGY EDUCATION, 13., 2014, Guimarães. **Anais [...]**. Guimarães: COPEC, 2014. Disponível em: <http://copec.eu/intertech2014/proc/works/25.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2021.

BATISTA, G. G. *et al.* Explorando Diferentes Recursos Didáticos no Ensino de Geografia: Uma Proposta para o Ensino Fundamental Séries Iniciais. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 5., 2018. Olinda. **Anais [...]**. Olinda: CONEDU, 2018. Disponível em: https://editorarealize.com.br/editora/anais/conedu/2018/TRABALHO_EV117_MD1_SA2_ID4580_17092018074328.pdf. Acesso em: 17 abr. 2021.

BAVIA FILHO, O. C. **Análise Energética e fluidodinâmica de trocadores de calor**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Maringá, 2015. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/bitstream/1/3597/1/000220629.pdf>. Acesso em 23 abr. 2021.

BEZERRA, A. R. A. **Utilização da fluidodinâmica computacional como ferramenta de estudo em bombas centrífugas**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Natal, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/26258/1/Utiliza%3%a7%3%a3ofluidodin%3%a2micacomputacional_Bezerra_2018.pdf. Acesso em: 20 abr. 2021.

BONWELL, C. C.; EISON, J. A. **Active learning: creating excitement in the classroom**. Washington: The George Washington University, 1991. 121 p.

BRASIL. Conselho Nacional de Educação. Parecer CNE/CES n. 1, de 23 de janeiro de 2019. **Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia**. Brasília: Diário Oficial da União, 23 abr. 2019. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/docman/marco-2019-pdf/109871-pces001-19-1/file>. Acesso em: 14 mar. 2021.

BRASIL. Conselho Nacional de Educação. Resolução CNE/CES n. 2, de 24 de abril de 2019. **Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia**. Brasília: Diário Oficial da União, 26 abr. 2019. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES112002.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2021.

BRASIL. Conselho Nacional de Educação. Resolução CNE/CES 1362/2001. **Diretrizes Curriculares Nacionais dos Cursos de Engenharia**. Brasília: Diário Oficial da União, 25 fev. 2002. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES1362.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2021.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. Secretaria de Educação Continuada, Alfabetização, Diversidade e Inclusão. Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica. Conselho Nacional da Educação. Câmara Nacional de Educação Básica. **Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais da Educação Básica**. Brasília: MEC, SEB, DICEI, 2013. 562p. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/docman/julho-2013-pdf/13677-diretrizes-educacao-basica-2013-pdf/file>. Acesso em 29 abr. 2021.

CASTRO, C. M. **Educação brasileira: consertos e remendos**. Rio de Janeiro: Rocco, 1994.

CAVALCANTE, D. C. M. **Estudo da Fluidodinâmica do processo de separação partícula sólida/água via hidrociclone filtrante: modelagem e simulação**. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/314/1/DANIEL%20CESAR%20DE%20MACEDO%20CAVALCANTE%20%e2%80%93%20TESE%20%28PPGEP%29%202017.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2021.

ÇENGEL, Y.A.; CIMBALA, J.M. **Mecânica dos Fluidos – Fundamentos e Aplicações**, 1ª Edição, Editora McGrawHill, 2007.

CHRISPIM, E. M.; WERNECK, R. F. Contexto e prática em Engenharia de Produção: estudo de caso de uma organização como fonte de conhecimento. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 23., 2003, Ouro Preto. **Anais [...]**. Ouro Preto: ABEPRO, 2003. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2003_tr1101_1107.pdf. Acesso em: 17 abr. 2021.

CHRISTO, M. M. S.; RESENDE, L. M. M.; KUHN, T. C. G. Por que os alunos de engenharia desistem de seus cursos – um estudo de caso. **Estudos sobre Educação**, Presidente Prudente, v. 29, n. 1, p.154-168, 2018. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/Nuances/article/download/4391>. Acesso em: 17 abr. 2021.

COELHO, M. P. **Simulação do processo de resfriamento de grãos usando a mecânica dos fluidos computacional**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/3548/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2021.

COLVERO, R. B.; JOVINO, D. P. Evasão acadêmica nas IES do Brasil: uma análise do ano de 2010. **Revista Argentina de Educación Superior**, v. 6, n. 8, p. 62-85, 2014. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4753797>. Acesso em: 18 mar. 2021.

DAMIAN, R. B. **Acoplamento de balanço populacional à simulação computacional de escoamentos multifásicos polidispersos**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <http://portal.peq.coppe.ufrj.br/index.php/producao-academica/dissertacoes-de-mestrado/2007-1/232-acoplamento-de-balanco-populacional-a-simulacao-computacional-de-escoamentos-multifasicos-polidispersos/file>. Acesso em: 18 abr. 2021.

ELOIR, M. **Análise do Fenômeno da Cavitação em Válvula Borboleta Usando a Fluidodinâmica Computacional**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade de Taubaté, Taubaté, 2015. Disponível em: <http://repositorio.unitau.br/jspui/handle/20.500.11874/450>. Acesso em: 22 abr. 2021.

ESCRIVÃO FILHO, E; RIBEIRO, L. R. Aprendendo com PBL-Aprendizagem Baseada em Problemas: Relato de uma experiência em cursos de engenharia da EESC-USP. **Minerva**, v. 6, n. 1, p. 23-30, 2009. Disponível em: [http://www.fipai.org.br/Minerva%2006\(01\)%2003.pdf](http://www.fipai.org.br/Minerva%2006(01)%2003.pdf). Acesso em: 25 mar. 2021.

FARDIN, S. C. S. G. Abordagem Ativa no Processo de Ensino Aprendizagem na disciplina de Desenho Técnico: Uma experiência em Engenharia. **Docência do Ensino Superior**, Belo Horizonte, v. 10, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rdes/article/view/16211/19767>. Acesso em: 11 abr. 2021.

FERNANDES, T. F. D. D. **Fluidodinâmica Computacional no Ensino de Física**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física em Rede) – Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2017. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/7556/10/Disserta%20c3%a7%20c3%a3o%20-%20Thiago%20Felipe%20Domingos%20Dias%20Fernandes%20-%202017.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2021.

FIALHO, N. N.; MATOS, E. L. M. A arte de envolver o aluno na aprendizagem de ciências utilizando *softwares* educacionais. **Educar em Revista**, Curitiba, n. especial 2, p. 121-136, 2010. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-40602010000500007. Acesso em: 13 abr. 2021.

FORTUNA, A. O. **Técnicas Computacionais para Dinâmica dos Fluidos: Conceitos Básicos e Aplicações**, Editora: Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

GAIOSO, N. P. L. **O fenômeno da evasão escolar na educação superior no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Católica de Brasília. Brasília, 2005.

GIL, A. C. **Metodologia do ensino superior**. São Paulo: Atlas, 2002.

GREPINO, P. H. F.; RODRIGUES, F. A. Utilização de *softwares* livres no ensino da engenharia química. **Revista de Engenharia Química e Química**, Viçosa, v. 01, n. 01, 2015. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/13892/1/15-188-1-PB.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2021.

GOUVÊA, M. T.; CASELLA, E. L. Uso do portfólio como meio de construção do pensamento científico: aplicação para as ciências de fenômenos de transporte nos cursos de engenharia. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA*, 32, 2004., Brasília. **Anais [...]**. Brasília: COBENGE 2004.

HAKE, R. R. Assessment of student learning in introductory science courses. **KAL Roundtable on the Future**. Duke University, p. 1-3. 2002. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Assessment-of-Student-Learning-in-Introductory-Hake/328087bfbf4d36e3aac9f04f3e1f362a2e9ed410>. Acesso em: 19 abr. 2021.

HEIDEMANN, L. A.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Ciclos de modelagem: uma proposta para integrar atividades baseadas em simulações computacionais e atividades experimentais no Ensino de Física. **Caderno brasileiro de ensino de física**, Florianópolis, v. 29, n. 2, p. 965-1007, 2012. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/85292/000862514.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 14 abr. 2021.

HORA, K. E. R.; MESQUITA, G. G. M.; GOMES, R. B. Análise das reprovações discentes no curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Goiás (EECA/UFG). **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiânia, v. 14, n. 1, p. 66-82, 2018. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/reec/article/view/46579>. Acesso em: 13 mar. 2021.

LAMINE, S.; XIONG, D. Guinean environmental impact potential risks assessment of oil spills simulation. **Ocean Engineering**, Amsterdam, v. 66, p. 44-57, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0029801813001509>. Acesso em: 17 abr. 2021.

LEITE, B. S. **Tecnologias no ensino de química: teoria e prática na formação docente**. Curitiba: Appris, 2015.

LOURENÇO FILHO, M. B. **Introdução ao estudo da Escola Nova**. 13. ed., São Paulo: Edições Melhoramentos, 1978.

LOVATTE *et al.* Metodologia de ensino de dinâmica dos fluidos computacional aplicada ao curso de engenharia ambiental. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 40., 2012, Belém. **Anais [...]**. Belém: COBENGE, 2012. Disponível em: <https://docplayer.com.br/2109107-Metodologia-de-ensino-de-dinamica-dos-fluidos-computacional-aplicada-ao-curso-de-engenharia-ambiental.html>. Acesso em: 18 abr. 2021.

LUNA, F. D. T. **Estudo de sedimentador contínuo usando fluidodinâmica computacional**. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-22052018-142847/publico/FlaviaDaylaneTavaresdeLunaCorr18.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2021.

MACHADO, A. S. **Explorando o uso do computador na formação de professores de ciências e matemática à luz da aprendizagem significativa e colaborativa**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal do Ceará. Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Fortaleza, 2012. Disponível em: http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/3660/1/2012_dis_asmachado.pdf. Acesso em: 15 abr. 2021.

MARCZAK, L. *et al.* Uma nova metodologia para o ensino das disciplinas de Fenômenos de Transporte. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 31., 2003, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: COBENGE, 2003.

MARIANO, G. C. **Estudo do escoamento imiscível água/óleo mediante experimentação em célula de Hele-Shaw e simulação CFD**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina. Pós-Graduação de Engenharia Química, Florianópolis, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/91697/254624.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20 abr. 2021.

MARTINS, J. G.; CAMPESTRINI, B. B. Ambiente virtual de aprendizagem favorecendo o processo ensino-aprendizagem em disciplinas na modalidade de educação a distância no ensino superior. *In*: CONGRESSO INTERNACIONAL DE EDUCAÇÃO À DISTÂNCIA, 11., 2004, Salvador. **Anais [...]**. Salvador: ABED, 2004. Disponível em: <http://www.abed.org.br/congresso2004/por/htm/072-TC-C2.htm>. Acesso em: 14 abr. 2021.

MATTAR, F. N. **Pesquisa de marketing: metodologia e planejamento**. São Paulo: Atlas, 1996.

MAY, E.; STRONG, D. S. Is engineering education delivering what industry requires? *In: CANADIAN ENGINEERING EDUCATION ASSOCIATION*, 3., 2006, Toronto. **Anais** [...]. Toronto: CEEA, 2006. p. 204-212. Disponível em: <http://library.queensu.ca/ojs/index.php/PCEEA/article/view/3849>. Acesso em: 20 mar. 2021.

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, CF de. Possibilidades e limitações das simulações computacionais no ensino da Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 77-86, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbef/v24n2/a02v24n2.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2021.

MENEZES, C. C. **Fluidodinâmica e erosão no sistema da válvula main bypass do turbo compressor de FCC**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.

MEYERS, Chet; JONES, Thomas. *Promoting active learning*. San Francisco: Jossey Bass, 1993.

MIGUEL, E. **Análise do fenômeno da cavitação em válvula borboleta usando a fluidodinâmica computacional**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade de Taubaté. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Taubaté, 2015. Disponível em: <http://repositorio.unitau.br/jspui/handle/20.500.11874/450>. Acesso em: 22 abr. 2021.

MIRANDA, W. R.; JUNIOR, E. D. N.; REZENDE, A. L. T. Simulação Numérica De Uma Bolha De Separação Em Bordo Arredondado Utilizando Equações Médias De Reynolds. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**, São Carlos, v. 1, n. 1, 2013. Disponível em: <https://proceedings.sbmac.org.br/sbmac/article/view/84>. Acesso em: 19 abr. 2021.

MORAIS, C. S. L. **Recursos Digitais no Ensino da Química: uma experiência no 7º ano de escolaridade**. 2006. Dissertação (Mestrado em Educação Multimídia) – Universidade do Porto, Porto, 2006. Disponível em: http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos_teses/2011/quimica/dissertacoes/quimica_digital_dissert.pdf. Acesso em: 22 abr. 2021.

MOREIRA, C. T. G. **Programa Introdutório à Fluidodinâmica Computacional com a Solução Numérica do Escoamento de Couette**. Dissertação (Mestrado em Matemática em Rede Nacional) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2020. Disponível em: <http://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/10564/2/Disserta%c3%a7%c3%a3o%20-%20Cl%c3%a1udio%20Tom%c3%a1s%20Galv%c3%a3o%20Moreira%20-%202020.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2021.

NORONHA, A. B.; CARVALHO, B. M.; SANTOS, F. F. F. **Estudo do perfil dos alunos evadidos da faculdade de economia, administração e contabilidade, campus Ribeirão Preto, e avaliação do tempo de titulação dos alunos atualmente matriculados**. Ribeirão Preto: FEA/USP, 2001. Disponível em: <http://nupps.usp.br/downloads/docs/dt0101.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2021.

OLIVEIRA, F.; ARRUDA, A. D. Um estudo da evasão/retenção no curso de Engenharia Química campus Bagé. *In: SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO*, 7., 2015, Bagé. **Anais [...]**. Bagé: UNIPAMPA, 2020. v. 7, n. 1. Disponível em: <https://periodicos.unipampa.edu.br/index.php/SIEPE/article/view/79948>. Acesso em: 14 mar. 2021.

OLIVEIRA, N. M. B.; VIEIRA, L. G. M.; DAMASCENO, J. J. R. Fluidodinâmica Computacional Aplicada ao Estudo de Medidores de Vazão. **Horizonte Científico**, Uberlândia, v.5, n. 2, 2011. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/horizontecientifico/article/view/4346>. Acesso em: 23 abr. 2021.

PAN, G. G.; NADALETI, W.C.; LOURENÇO, V. A. Estratégias de Ensino em Disciplinas de uma Universidade: Fenômenos de Transporte e Mecânica dos Fluidos. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 38, n. 1, p. 100-106, 2019. Disponível em: <http://revista.educacao.ws/revista/index.php/abenge/article/view/1507>. Acesso em: 14 mar. 2021.

PAZINATO, M. S. *et al.* O estudo de caso como estratégia metodológica para o ensino de química no nível médio. **Revista Ciências & Ideias**, Nilópolis, v. 5, n. 2, p. 1-18, 2014. Disponível em: <https://revistascientificas.ifrj.edu.br/revista/index.php/reci/article/view/317/284>. Acesso em: 17 abr. 2021.

PIEROZAN, M. **Validação de modelo para predição do coeficiente de descarga de um tanque esférico por dinâmica de fluidos computacional**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/36918>. Acesso em: 20 abr. 2021.

PINHEIRO, V. P. *et al.* Impacto do uso da dinâmica de fluidos computacional no processo ensino-aprendizagem aplicado à fenômenos de transporte. *In: ENCONTRO CIENTÍFICO DE FÍSICA APLICADA*, 7., São Paulo, 2016. **Anais [...]**. São Paulo: Blucher Physics Proceedings, 2016. v. 3, n. 1, p. 99-104. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/impacto-do-uso-da-dinamica-de-fluidos-computacional-no-processo-ensino-aprendizagem-aplicado-fenmenos-de-transporte-25260>. Acesso em: 12 abr. 2021.

POLYDORO, S. A. J. **O Trancamento de matrícula na trajetória acadêmica do universitário: condições de saída e de retorno à instituição**. Tese (Doutorado em Educação) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/253539/1/Polydoro_SoelyAparecidaJorge_D.pdf. Acesso em: 18 mar. 2021.

PRINCE, M. Does Active Learning Work? A Review of the Research. **Journal of Engineering Education**, v. 93, n. 3, p. 223-231, 2004. Disponível em: https://www.engr.ncsu.edu/wp-content/uploads/drive/1smSpn4AiHSh8z7a0MHDBwhb_JhcoLQmI/2004-Prince_AL.pdf. Acesso em: 14 abr. 2021.

RÊGO, T. B. **Estudo do comportamento térmico e hidrodinâmico da lubrificação de mancais escora através de simulação computacional**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Pernambuco, Recife, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/29445/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O%20Thiago%20Bonif%c3%a1cio%20do%20Rego.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2021.

RISSI, M. C.; MARCONDES, M. A. S. (orgs). Estudo sobre a reprovação e retenção nos cursos de graduação - 2009. Relatório. Londrina: UEL, 2011.

RIOS, R. *et al.* Evasão, Retenção e Diplomação: Ocorrências e Motivações. In: COLÓQUIO INTERNACIONAL DE GESTÃO UNIVERSITÁRIA, 2017, Mar del Plata. **Anais** [...]. Florianópolis: UFSC, 2017. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/181097/104_00110.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 17 mar. 2021.

RODRIGUES, G. S. **Análise da Abordagem Ativa no Processo de Ensino-Aprendizagem na Disciplina de Planejamento de Transportes**. Dissertação (Mestrado em Transportes) – Universidade de Brasília, Brasília, 2015. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/18686/1/2015_%20Glauce%c3%a1riadaSilvaRodrigues.pdf. Acesso em: 20 abr. 2021.

ROCHA, P. A. C.; SILVEIRA, J. V. P. Estudo e aplicação de simulação computacional em problemas simples de mecânica dos fluidos e transferência de calor. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 34, n. 3, p. 1-8, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbef/v34n4/a06v34n4.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2021.

SÁ, L. P. *et al.* **Estudo de casos no ensino de Química**. Campinas: Editora Átomo, 2009.

SAMPAIO, F. F. Modelagem dinâmica computacional e o processo de ensino-aprendizagem: algumas questões para reflexão. **Revista Ciência em Tela**, v. 1, n. 2, 2009. Disponível em: <http://www.cienciaemtela.nutes.ufrj.br/artigos/0109sampaio.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2021.

SANTOS, W. R. G. **Escoamento multifásico em duto vertical com vazamento: avaliação físico/geométrica do duto na hidrodinâmica do escoamento**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Campina Grande. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Campina Grande, 2014. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/523>. Acesso em: 18 abr. 2021.

SARAIVA, W. *et al.* Evasão e retenção: uma análise nos cursos de engenharias na UNIPAMPA campus BAGÉ. In: SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 11., 2020, Bagé. **Anais** [...]. Bagé: UNIPAMPA, 2020. v. 11, n. 1. Disponível em: <https://periodicos.unipampa.edu.br/index.php/SIEPE/article/view/87404>. Acesso em: 20 mar. 2021.

SAVIANI, D. **Pedagogia histórico-crítica: primeiras aproximações**. 2. ed., São Paulo: Cortez, 1991.

SERRA, F. *et al.* **Estudos de casos: como redigir, como aplicar.** Rio de Janeiro: LTC, 2006.

SIQUEIRA, C. L. R; FONTES, C. E. 2º Utilização de Simulação Numérica para Auxílio do Ensino de Engenharia e Apoio a Projetos de TCC. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA*, 46., 2018, Salvador. **Anais [...]**. Salvador: COBENGE, 2018. Disponível em: <http://revista.educacao.ws/revista/index.php/abenge/article/view/1729/929>. Acesso em: 21 abr. 2021.

Silberman, M. **Active Learning – 101 Strategies do teach any subject.** *Ed. Allyn and Bacon*, Massachusetts, 1996.

SILVA, A. A. *et al.* Transversalidade na educação em engenharia com a WEB 2.0: o projeto energia inteligente. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA*, 38., 2010, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: COBENGE, 2010. Disponível em: <https://www.ufjf.br/peteletrica/files/2010/03/2010-TRANSVERSALIDADE-NA-EDUCA%C3%87%C3%83O-EM-ENGENHARIA-COM-A-WEB-2.0-O-PROJETO-ENERGIA-INTELIGENTE.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2021.

SILVA FILHO, R. L. L. *et al.* A evasão no ensino superior brasileiro. **Cadernos de Pesquisa**, São Paulo, v. 37, n. 132, p. 641-659, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/cp/v37n132/a0737132.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2021.

SILVESTRE, V. *et al.* PBL e Agenda 21 - problemas socioambientais na graduação de gestão de políticas públicas para sustentabilidade. *In: PROBLEM-BASED LEARNING INTERNATIONAL CONFERENCE*, 2010, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: USP, 2010. Disponível em: <http://each.uspnet.usp.br/pbl2010/trabs/trabalhos/TC0502-2.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2021.

SOARES, I. S. **UFRJ - A Engenharia de Produção - opção no vestibular, evasão, reprovação e o novo vestibular.** Rio de Janeiro: UFRJ, 2008. Disponível em: <https://silo.tips/download/ufrj-engenharia-de-producao-evasao-retenao-orientacao-academica-e-outros-pontos-re>. Acesso em: 20 mar. 2021.

SPRICIGO, C. B. Estudo de caso como abordagem de ensino. **Revista PUCPR**, Curitiba, v. 1, n. 4, p. 1-4, 2014. Disponível em: <https://www.pucpr.br/wp-content/uploads/2017/10/estudo-de-caso-como-abordagem-de-ensino.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2021.

TANNEHILL, J. C.; ANDERSON, D. A.; PLETCHER, R. H. **Computational fluid mechanics and heat transfer.** 2. ed., Washington, DC: Taylor & Francis, 1997.

THIERS, R. V.; CRUZ, J. M. V. **Uma introdução ao estudo de simulação numérica como instrumento de gerenciamento de reservatórios**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia do Petróleo) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10023664.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2021.

TONTINI, G.; WALTER, S. A. Pode-se identificar a propensão e reduzir a evasão de alunos? Ações estratégicas e resultados táticos para instituições de Ensino Superior. **Avaliação**, Campinas; Sorocaba, v. 19, n. 1, p. 89-110, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/aval/v19n1/05.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2021.

TUTIDA, L. A utilização do *software* de simulação para o ensino e aprendizagem com uso das metodologias ativas no curso de Administração. **Repositorio de Tesis y Trabajos Finales UAA**, 2020. Disponível em: <http://revistacientifica.uaa.edu.py/index.php/repositorio/article/view/908>. Acesso em 18 abr. 2021.

VALENTE, J. A.; FREIRE, F. M. P.; ARANTES, F. L. **Tecnologia e educação: passado, presente e o que está por vir**. Campinas: NIED/UNICAMP, 2018.

VIGOTSKY, L. S.; LEONTIEV, A. N. **Linguagem, desenvolvimento e aprendizagem**. Trad. de Maria da Penha Villa Lobos. São Paulo: Ícone/Editora da USP, 1988.

VILLAS-BOAS, V. et al. **Capítulo 1 – Aprendizagem Ativa na Educação em Engenharia**, 2011. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5659203/mod_resource/content/1/Capitulo%20SD3%20Aprendizagem%20Ativa_VERSAO_FINAL.pdf. Acesso em: 18 abr. 2021.

VILLELA, L. B.; CONDÉ, U. D. C.; NUNES, R. C. P. Disciplinas básicas do curso de Engenharia de Produção como possível causa de retenção e evasão. *In*: ENCONTRO MINEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 14., 2018, Juiz de Fora. Anais [...]. Juiz de Fora: EMEPRO, 2018. Disponível em: <https://www.ufjf.br/getproducao/files/2018/06/Disciplinas-b%c3%a1sicas-do-curso-de-Engenharia-de-Produ%c3%a7%c3%a3o-como-poss%c3%advel-causa-da-reten%c3%a7%c3%a3o-e-ev%c3%a3o.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2021.

WEHMANN, C. F. *et al.* Estudo e aplicação de simulação computacional em problemas simples de mecânica dos fluidos e transferência de calor – Parte II: Problemas clássicos de transmissão de calor. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 40, n. 2, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbef/v40n2/1806-1117-rbef-40-02-e2313.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2021.

ZIMMERMANN, C. C. *et al.* Análise estatística dos fenômenos de reprovação e evasão no curso de graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 39., 2011, Blumenau. **Anais** [...]. Blumenau: ABENGE, 2011.