



UTILIZANDO REALIDADE VIRTUAL PARA FACILITAR A COMPREENSÃO DOS ESTUDANTES NO ESTUDO DE MECÂNICA DOS FLUIDOS: O CASO DO EXPERIMENTO DE REYNOLDS

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2025.6195

Autores: LEONARDO CAVALHEIRO MARTINEZ, KAMILA COLOMBO, NICE MIKA SAKAMOTO KAMINARI, CINTHIA BITTENCOURT SPRICIGO, JEAN PAUL BARDDAL

Resumo: A experiência imersiva com o Experimento de Reynolds foi aplicada no 2º semestre de 2024 na disciplina de Introdução aos Fenômenos de Transporte, obrigatória no Núcleo Comum das Engenharias da PUCPR. Participaram três turmas (média de 40 alunos cada) e três professores. Em ambiente virtual industrial, os estudantes ajustaram vazão, diâmetro e tipo de fluido, observando regimes de escoamento (Laminar, de Transição e Turbulento). Em grupos, realizaram o experimento por duas horas-aula e elaboraram um Laudo Técnico. A atividade foi avaliada via questionário e, segundo o framework de Puenteadura (2014), 84,7% consideraram-na motivadora, 86% relataram aprendizagem e 82% observaram melhora no desempenho. A média dos laudos foi superior a 9,0. A interação e visualização dos escoamentos contribuíram para a compreensão conceitual, reforçando o potencial da realidade virtual como estratégia eficaz de ensino em temas relacionados à Mecânica dos Fluidos.

Palavras-chave: Realidade Virtual, Mecânica dos Fluidos, Experimento de Reynolds

UTILIZANDO REALIDADE VIRTUAL PARA FACILITAR A COMPREENSÃO DOS ESTUDANTES NO ESTUDO DE MECÂNICA DOS FLUIDOS: O CASO DO EXPERIMENTO DE REYNOLDS

1 INTRODUÇÃO

A visualização de fenômenos físicos na Engenharia, especialmente em Mecânica dos Fluidos, apresenta grandes desafios para os estudantes devido à abstração dos conceitos e à dificuldade de observar diretamente o comportamento dos fluidos. O fluxo de líquidos e gases, seus regimes de escoamento (Laminar, de Transição e Turbulento) e as variáveis que influenciam esses comportamentos são fundamentais, mas muitas vezes invisíveis a olho nu, dificultando a compreensão plena desses fenômenos. Essa complexidade pode gerar barreiras no aprendizado, uma vez que os alunos precisam interpretar dados de difícil percepção.

O experimento de Reynolds é um tema de estudo essencial para o ensino de Mecânica dos Fluidos, uma vez que ele permite demonstrar as transições entre os diferentes regimes de escoamento, além de ser amplamente utilizado na Engenharia para aplicações em Sistemas de Transporte de fluidos (Fox e McDonald, 2018). No entanto, as dificuldades de replicar esse experimento de forma acessível e clara em sala de aula impõem desafios. Uma solução alternativa e eficaz é o uso de imersão, que pode proporcionar uma experiência educacional inovadora e significativa.

A literatura acadêmica demonstra um crescente interesse na aplicação da Realidade Estendida (RE) na educação em diversas áreas, incluindo a Engenharia. Um estudo de Samala *et al.* (2023) analisa as tendências globais de publicação em Realidade Virtual (RV) para fins de aprendizado, destacando o aumento significativo no número de publicações nos últimos 21 anos, saltando de cinco artigos em 2001 para mais de 3 mil artigos listados na base Scopus em 2022, o que reflete o crescente reconhecimento do potencial da RE no contexto educacional. A Realidade Virtual tem sido aplicada com sucesso em diversas áreas, desde ciências e Engenharia até história e psicologia, proporcionando experiências realistas e imersivas que aumentam a compreensão e a retenção de informações (JAYADURGA; RATHIKA, 2023).

De acordo com Morgado (2022), imersão é um fenômeno caracterizado por um estado cognitivo de profundo envolvimento, em que a atenção do indivíduo se desvincula do mundo exterior. No contexto educacional, a imersão pode ser vista sob três dimensões principais: “sistema”, “narrativa” e “desafios”. A imersão pelo “sistema” envolve a sensação subjetiva de estar completamente envolto no ambiente, enquanto que a imersão pela “narrativa” compreende a absorção pelo significado contextual do conteúdo. Já a imersão pelos “desafios”, ou agência, refere-se ao envolvimento ativo do estudante em atividades que exigem tomadas de decisão e resolução de problemas, incluindo a condição que está envolvida na resolução de Problemas de Engenharia.

Além disso, o modelo S.A.M.R., desenvolvido por Ruben Puentedura (2014), oferece um referencial valioso para a integração de tecnologias digitais no ensino. Este modelo é dividido em quatro níveis: Substituição, Ampliação, Modificação e Redefinição. Nos dois

primeiros níveis, a tecnologia é usada para substituir ou ampliar práticas já existentes, proporcionando melhorias funcionais e familiarizando os alunos com os recursos digitais. E nos níveis de Modificação e Redefinição, a tecnologia transforma e redefine as atividades, permitindo novas formas de interação e visualização.

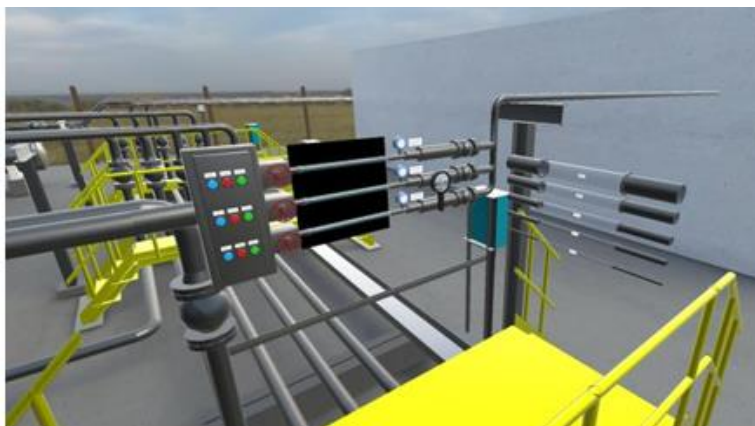
A disciplina de Introdução aos Fenômenos de Transporte, oferecida no 3º ou 4º períodos de alguns cursos de Engenharia da Escola Politécnica da PUCPR, por meio da estrutura de Núcleo Comum, foi o cenário escolhido para a implementação de uma prática inovadora no 2º semestre de 2024. Participaram três turmas, totalizando, aproximadamente, 120 estudantes, orientados por três professores distintos. A motivação para essa prática surgiu da necessidade de aprimorar o entendimento dos conceitos de escoamento, já que as abordagens tradicionais enfrentam limitações na explicação teórica e a disciplina não possui modulação prática. O uso de RV foi proposto como uma forma de superar esses obstáculos, permitindo que os alunos interajam com variáveis como vazão volumétrica, diâmetro da tubulação e diferentes tipos de fluido, observando os efeitos dessas mudanças em tempo real.

2 DESCRIÇÃO DA PRÁTICA

O resultado de aprendizagem da disciplina de Introdução aos Fenômenos de Transporte é: “Analisar, com precisão e colaboração, os mais diversos problemas de engenharia envolvendo Fenômenos de Transportes por meio da aplicação dos princípios e conceitos de Mecânica dos Fluidos e de Transferência de Calor”. O objetivo da experiência é contemplar os temas de estudos da área de mecânica dos fluidos nos seguintes indicadores de desempenho: “Aplica o equacionamento correto da dinâmica dos fluidos em sistemas de engenharia envolvendo escoamentos, interno, incompressíveis e viscosos (Perda de Carga)” e “Analisa problemas de sistemas de transporte de fluidos que possuem Bombas Hidráulicas”.

Na experiência imersiva proposta, os estudantes podem simular diferentes condições de escoamento de fluidos em um cenário virtual que imita um ambiente industrial (Figura 1). A simulação proporciona uma abordagem escalável, econômica e livre dos riscos associados à realização do experimento de Reynolds em um ambiente físico.

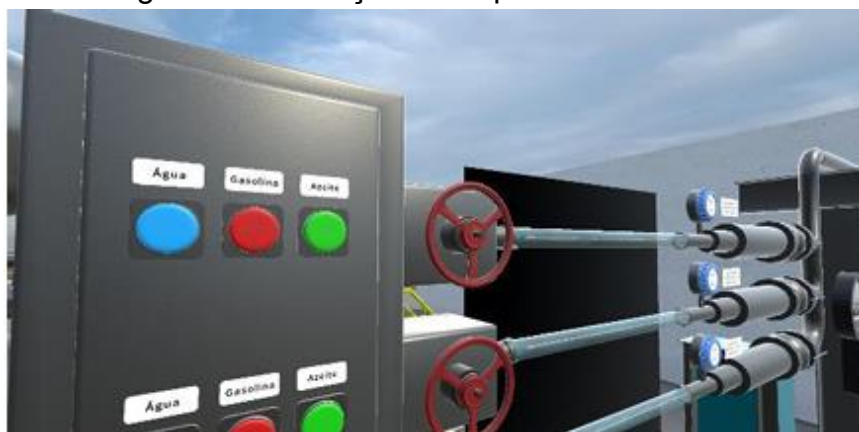
Figura 1 – Ambiente industrial tridimensional modelado em Realidade Virtual.



Fonte: Os autores, 2024.

Os estudantes tiveram a oportunidade de alterar variáveis como vazão volumétrica, diâmetro da tubulação e o tipo de fluido (dentre as opções de Água, Gasolina e/ou Azeite de Oliva) em três tubulações distintas. A simulação exibiu animações 3D realistas que ilustravam o comportamento dos fluidos em regimes de escoamento laminar, de transição e turbulento, com base nas variáveis ajustadas (Figura 2). Essas interações ocorriam de maneira intuitiva, utilizando controles que simulavam girar válvulas, apertar botões e ajustar trechos de tubulação. Além disso, uma ferramenta de lente de aumento permitia a visualização detalhada dos elementos do experimento, ampliando ainda mais a Imersão Técnica.

Figura 2 – Ilustração da Experiência Imersiva.



Fonte: As Autores, 2024

O uso dos dispositivos de realidade virtual (RV) proporcionou um nível elevado de imersão nas dimensões de sistema e desafio conforme propostos por Morgado (2022). A imersão pelo sistema foi garantida pela sensação de envolvimento total no ambiente virtual, enquanto a imersão pelo desafio foi evidenciada pela manipulação direta de variáveis e pela necessidade de tomar decisões e realizar os experimentos. Embora a imersão pela narrativa não estivesse fortemente presente, o sistema e o desafio se mostraram suficientes para manter a atenção e o engajamento dos estudantes.

No modelo S.A.M.R., a prática alcançou o nível de Modificação, uma vez que a tecnologia de realidade virtual não apenas substituiu o experimento físico, mas ampliou e transformou a forma de interação com os conceitos, permitindo aos alunos experimentarem variáveis que seriam difíceis de manipular em um laboratório tradicional de um curso de Engenharia. Essa modificação proporcionou novas formas de visualização e entendimento dos Regimes de Escoamento.

O experimento foi realizado em horário de aula (2 ha, totalizando 1h30min), onde cada turma teve acesso a 1 ou 2 dispositivos de realidade virtual para que vivenciassem o experimento, coletassem dados e fizessem suas anotações em equipes de 4 a 6 estudantes. Um membro de cada equipe utilizava o dispositivo VR para conduzir a simulação, enquanto os demais integrantes acompanham a execução do experimento por meio de projeções em tela.

Durante a atividade, foram realizados três experimentos distintos, nos quais os estudantes coletaram e registraram dados como: diâmetro das tubulações, vazão selecionada

e o número de Reynolds correspondente. A análise desses dados subsidiou a elaboração de um Laudo Técnico, entregue como parte da avaliação somativa da disciplina. A seguir, são descritos os três cenários simulados:

Cenário 01:

- *Utilize três diâmetros de tubos diferentes e anote os que foram escolhidos.*
- *Escolha apenas um fluido para utilizar nas três tubulações escolhidas.*
- *Varie a vazão em cada uma das três tubulações.*
- *Observe em cada um dos tubos as regiões de escoamento laminar, de transição e turbulento.*
- *Anote para cada um dos tubos qual a máxima vazão e velocidade para cada tipo de Regime de Escoamento.*

Cenário 02:

- *Utilize três diâmetros de tubos diferentes e anote os que foram escolhidos.*
- *Escolha apenas um fluido para utilizar nas três tubulações escolhidas.*
- *Para uma mesma vazão de fluido (variação de no máximo 5% para mais ou para menos), anote os valores das velocidades e observe o regime de escoamento.*
- *Discuta tecnicamente os resultados.*
- *Calcule analiticamente as velocidades e número de Reynolds para os três casos e compare com os obtidos no experimento. Aplique o conceito estatístico de barras de erro.*

Cenário 03:

- *Escolha um diâmetro de tubo e trabalhe com os três fluidos diferentes em cada tubo.*
- *Para cada caso, varie a vazão do fluido e identifique onde ocorre a mudança de regime laminar para transição e de transição para turbulento.*
- *Faça um gráfico do tipo de fluido x vazão e identifique as faixas de regimes para cada fluido.*
- *Discuta tecnicamente os resultados.*

2.1 Análise do Laudo

A avaliação dos Laudos Técnicos foi realizada por dois avaliadores independentes, com base em parâmetros previamente definidos (Rubrica de Correção). Importa destacar que a análise foi direcionada ao desempenho coletivo de cada equipe, sem atribuição de notas individuais aos participantes. Os critérios de avaliação foram organizados conforme os objetivos específicos de cada experimento:

Experimento 1:

- **Determinação da Velocidade de Escoamento:** identificação das equipes que aplicaram corretamente os dados fornecidos para calcular a velocidade do fluido.
- **Análise dos Regimes de Escoamento:** verificação da capacidade das equipes em comparar adequadamente os regimes laminar, de transição e turbulento, com base nas condições experimentais observadas.

Experimento 2:

- **Cálculo da velocidade e do número de Reynolds:** avaliação da aplicação correta dos conceitos e fórmulas relacionados à determinação dessas variáveis.
- **Interpretação dos Resultados:** análise da profundidade técnica e conceitual das discussões apresentadas, considerando a consistência dos argumentos, a utilização de métodos analíticos e a comparação com dados simulados, incluindo o uso de Barras de Erro quando apropriado.

Experimento 3:

- **Representação gráfica dos Regimes de Escoamento:** análise da clareza e fundamentação técnica na construção de gráficos que evidenciem as regiões de regimes Laminar, de Transição e Turbulento.
- **Análise crítica dos dados apresentados no Laudo Técnico:** verificação da qualidade interpretativa das equipes com base nas observações experimentais e nos gráficos gerados, identificando o domínio conceitual demonstrado.

As produções foram enquadradas em três categorias de desempenho (com base no que havia sido apresentado nos Laudos Técnicos):

- **Adequado:** quando evidenciado pleno domínio dos conceitos e aplicação correta dos procedimentos técnicos.
- **Parcialmente Adequado:** em casos de compreensão parcial, com eventuais erros ou omissões pontuais.
- **Inadequado:** quando se observaram falhas conceituais relevantes ou ausência de elementos fundamentais solicitados.

Essa abordagem avaliativa possibilitou uma sistematização do desempenho coletivo das equipes, permitindo mapear de maneira estruturada os indícios de aprendizagem decorrentes da atividade imersiva, especialmente no que se refere à assimilação dos princípios essenciais da Mecânica dos Fluidos. Além disso, na aula seguinte à execução do experimento de Reynolds de modo em RV, os estudantes responderam a um questionário sobre suas percepções em relação à atividade imersiva bem como aos possíveis ganhos de aprendizagem alcançados.

3 RESULTADOS

3.1 Percepções Gerais

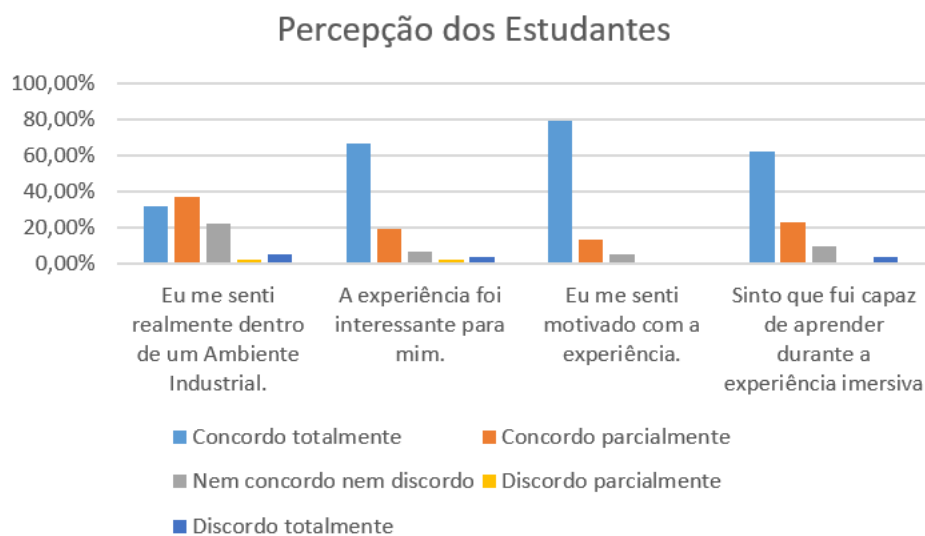
A experiência imersiva realizada demonstrou resultados positivos no engajamento e na aprendizagem dos estudantes. O uso dos dispositivos de RV proporcionou aos alunos a sensação de estarem em um ambiente industrial real, manipulando variáveis que afetavam diretamente os regimes de escoamento. A imersão pelo desafio, caracterizada pela necessidade de realizar experimentos complexos, permitiu que os alunos aplicassem os conceitos aprendidos de forma prática e imediata, contribuindo para uma melhor assimilação dos Temas de Estudo abordados.

As imersões no sistema e no desafio foram suficientes para atingir os objetivos de aprendizagem, principalmente na visualização dos fenômenos abstratos de Mecânica dos Fluidos, como as mudanças entre escoamento laminar e de transição e entre a transição e o turbulento, bem como o impacto das variáveis como vazão e diâmetro da tubulação. A prática ofereceu uma oportunidade única de integração entre teoria e prática, na qual os alunos puderam manipular variáveis e observar em tempo real os efeitos das mudanças, algo que, em um laboratório físico de um curso de Engenharia poderia até ocorrer, mas de forma mais complexa e limitada.

Adicionalmente, ao avaliar a prática com base no modelo S.A.M.R. (PUENTEDURA, 2014), observa-se que a tecnologia de realidade virtual atingiu o nível de Modificação. A simulação não apenas substituiu a realização física do experimento de Reynolds permitindo uma visualização ampliada e interativa dos fenômenos. A experiência em realidade virtual transformou a prática de maneira a tornar possível a manipulação direta das variáveis e a observação dos efeitos em um ambiente tridimensional (3D). Esse tipo de interação promoveu um aprendizado mais ativo e participativo, fundamental para a construção do conhecimento em disciplinas de alta complexidade conceitual.

A percepção dos estudantes sobre o uso dessa tecnologia foi também avaliada por meio de um questionário com algumas perguntas, que mediu o grau de engajamento, compreensão dos conceitos e a satisfação com a prática imersiva. Os resultados (Figura 3) indicam que a maioria dos alunos considerou a imersão como sendo uma ferramenta essencial para o entendimento dos fenômenos de Escoamento de Fluidos.

Figura 3 – Percepção dos estudantes em relação a Experiência Imersiva.



Fonte: As Autores, 2024.

3.2 Análise do Laudo

A correção dos Laudos Técnicos seguiu critérios previamente definidos por meio de uma rubrica avaliativa, contemplando tanto a precisão dos cálculos quanto a qualidade da análise técnica e da argumentação desenvolvida pelos estudantes. No Experimento 01, verificou-se um desempenho homogêneo na etapa inicial: a totalidade dos estudantes (100%)

realizou corretamente os cálculos da velocidade de escoamento, assim como as comparações com os dados simulados. Esse resultado sugere que o uso de ambientes virtuais altamente visuais e interativos contribuiu significativamente para a internalização do conceito de escoamento como um fenômeno físico e matemático. No entanto, na segunda etapa do experimento, que exigia interpretações mais relevantes, observou-se uma leve diminuição no desempenho. Aproximadamente 88,98% das respostas foram plenamente adequadas, enquanto 11,02% apresentaram compreensão parcial. Essa oscilação, ainda que sutil, evidencia uma limitação importante: a realidade virtual, embora potencialize a observação e manipulação dos fenômenos, não assegura automaticamente a capacidade de traduzir a experiência vivida em uma linguagem técnico-científica precisa, especialmente quando são exigidas habilidades cognitivas mais sofisticadas, como abstração, análise crítica e argumentação com embasamento teórico.

No Experimento 02, que introduziu o conceito de número de Reynolds e sua correlação com os regimes de escoamento, os resultados permaneceram elevados (86,61% de respostas corretas e 13,38% parcialmente corretas), o que indica que a abordagem imersiva foi eficaz na consolidação do raciocínio físico-matemático. Contudo, a segunda parte desse experimento, dedicada à construção de uma análise técnica mais aprofundada, apresentou maior dificuldade por parte dos estudantes: apenas 48,03% demonstraram domínio completo do conteúdo, enquanto 51,96% produziram respostas com lacunas conceituais. Esses dados apontam que, embora a RV favoreça a compreensão visual e operacional dos conceitos, a elaboração de argumentos estruturados e baseados em conhecimentos teóricos exige habilidades adicionais, como a organização lógica do pensamento, o domínio de terminologias específicas e a capacidade de generalizar informações. Esses achados estão em consonância com a literatura, que ressalta a necessidade de integrar os recursos imersivos a práticas metacognitivas que estimulem a reflexão e a comunicação científica articulada (MASCARENHAS e SERRA, 2024).

No Experimento 03, os estudantes foram desafiados a representar graficamente as três zonas de escoamento e a discuti-las tecnicamente. Na etapa gráfica, 59% conseguiram realizar a tarefa com correção, enquanto que 27,55% apresentaram resultados parcialmente adequados e 13,38% não atingiram os critérios esperados. Quanto à análise técnica dos gráficos, 58,26% das equipes demonstraram compreensão satisfatória, ao passo que 41,7% apresentaram interpretações incompletas ou conceitualmente frágeis. Apesar de a realidade virtual ter favorecido a identificação visual dos diferentes regimes de escoamento, ela se mostrou limitada no que tange à promoção da interpretação crítica e à formulação de explicações fundamentadas, indicando a importância de estratégias didáticas que estabeleçam conexões entre a experiência imersiva e a formalização conceitual (DURÁN et al., 2024).

Em síntese, a análise dos Laudos Técnicos revela que o uso da realidade virtual funcionou como catalisador no desenvolvimento de competências procedimentais e conceituais relacionadas à visualização, manipulação e cálculo. Contudo, seu efeito foi menos expressivo nas dimensões argumentativas e discursivas, que exigem operações cognitivas de nível mais elevado.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso da realidade virtual aplicada à Mecânica dos Fluidos mostrou-se eficaz no aprimoramento do aprendizado, permitindo aos estudantes uma visualização clara e interativa dos fenômenos de escoamento quando relacionado ao experimento de Reynolds. Ao manipular variáveis como vazão volumétrica, diâmetro da tubulação e diferentes tipos de fluido, os alunos puderam observar os efeitos diretos dessas mudanças em tempo real, facilitando a compreensão de conceitos teóricos abstratos.

A prática alcançou um nível de imersão profundo nas dimensões de sistema e desafio (Morgado, 2022), criando uma experiência envolvente e altamente educativa. No âmbito do modelo S.A.M.R., a atividade foi classificada no nível de Modificação, ao transformar o aprendizado tradicional em uma experiência interativa que redefine o modo como os conceitos são abordados.

Os resultados indicam que o ambiente virtual aumentou significativamente o engajamento e a compreensão dos alunos, tornando o processo de aprendizagem mais dinâmico e atrativo. A combinação de experimentação, visualização e interatividade contribuiu para um aprendizado mais ativo e eficaz, o que é especialmente relevante em disciplinas de alta complexidade conceitual como as que envolvem conceitos relacionados à Mecânica dos Fluidos.

REFERÊNCIAS

BECK, D.; MORGADO, L.; O'SHEA, P. Finding the gaps about uses of immersive learning environments: a survey of surveys. **Journal of Universal Computer Science**, v. 26, n. 8, p. 1043–1073, 2020.

DURÁN ANDRADES, R. N.; SZMOSKI, R. M.; MIQUELIN, A. F.; COELHO, A. M. S. Uma análise crítica de pesquisas sobre o uso da realidade virtual no ensino de Física. **ENCITEC – Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista, Santo Ângelo**, v. 14, n. 3, p. 54–69, set./dez. 2024.

FOX, R. W.; MCDONALD, A. T.; PRITCHARD, P. J. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

JAYADURGA, R.; RATHIKA, S. Significance and impact of artificial intelligence and immersive technologies in the field of education. **International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)**, [S. l.], v. 12, n. 2, p. 66–71, 2023.

MASCARENHAS, É. S.; SERRA, A. W. L. Verificação de simulações interativas como ferramenta para o desenvolvimento de habilidades cognitivas no ensino de física. **Anais do Congresso Nacional de Pesquisas e Práticas em Educação**, v. 2, n. 1, 2024.

MORGADO, L. Ambientes de Aprendizagem Imersivos. **Video Journal of Social and Human**

Research, v. 1, n. 2, p. 102-116, 2022.

PUENTEDURA, R. **SAMR and TPCK: Intro to Advanced Practice**. Hippasus, 2014.

SAMALA, A. D.; USMELDI; TAALI; DAINIKO, Y.; INDARTA, Y.; NANDO, Y. A.; ANWAR, M.; JAYA, P.; ALMASRI. Global publication trends in augmented reality and virtual reality for learning: the last twenty-one years. **International Journal of Engineering Pedagogy (iJEP)**, [S. l.], v. 13, n. 2, p. 109–128, 2023.

USING VIRTUAL REALITY TO FACILITATE STUDENT UNDERSTANDING IN FLUID MECHANICS: THE CASE OF THE REYNOLDS EXPERIMENT

Abstract: *The immersive experience with the Reynolds Experiment was implemented in the second semester of 2024, within the Introduction to Transport Phenomena course, a mandatory subject in the Common Engineering Core at PUCPR. Three class sections participated (average of 40 students each), along with three instructors. In a virtual industrial environment, students adjusted flow rate, pipe diameter, and fluid type, observing flow regimes (Laminar, Transitional, and Turbulent). Working in groups, they conducted the experiment over two class hours and produced a Technical Report. The activity was assessed through a questionnaire and, according to Puentedura's (2014) framework, 84.7% found it motivating, 86% reported learning gains, and 82% observed performance improvement. The average grade for the reports exceeded 9.0. Interaction and visualization of flow regimes supported conceptual understanding, reinforcing the potential of virtual reality as an effective teaching strategy for topics related to Fluid Mechanics.*

Keywords: *Virtual Reality. Fluid Mechanics. Reynolds Experiment.*

