

Realidade Virtual para Ensino da Física: análise do engajamento e presença de uma experiência imersiva no aprendizado da Cinemática

Jhasmani Tito¹, Regina Moraes¹

¹Faculdade de Tecnologia – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), SP – Brazil

j265442@dac.unicamp.br, regina@ft.unicam.br

Abstract. *Virtual reality (VR) opens up new possibilities in Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) education. This work presents exploratory research to understand the relationships between learning outcomes and features of VR serious games (VRSG), in an attempt to understand the relationships between these features and uncover ways to design effective VRSG for learning. ORUN-VR, an immersive VR serious game, is designed, developed, and tested to engage students and improve their understanding of kinematics concepts. User-based experiments were used to evaluate the game's engagement and presence, and to test its usability and knowledge acquisition. Moreover, was used screen capture to observe user behaviour and statistical analysis to analyze the results. Learning outcomes revealed a 52% learning gain for students who used VR versus those who did not, with gender differences. It is also discussed how game engagement, presence VR, and gender affect learning outcomes.*

Resumo. *A realidade virtual (RV) abre novas possibilidades na educação em Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática (STEM). Este trabalho apresenta uma pesquisa exploratória para entender as relações entre aprendizagem e recursos de jogos sérios de RV (VRSG), na tentativa de entender as relações entre esses recursos e descobrir maneiras de projetar VRSG eficazes para o aprendizado. ORUN-VR, um jogo sério de RV imersivo, foi projetado, desenvolvido e testado para envolver os alunos e melhorar sua compreensão dos conceitos de cinemática. Experimentos baseados em usuários foram usados para avaliar o engajamento e a presença do jogo, para testar sua usabilidade e aquisição de conhecimento. Além disso, utilizou-se a captura de tela para observar o comportamento do usuário e análise estatística para analisar os resultados. Os resultados de aprendizagem revelaram um ganho de aprendizagem de 52% para os alunos que usaram RV versus aqueles que não usaram, com diferenças de gênero. Além disso, é discutido como o engajamento no jogo, a RV de presença e o gênero afetam os resultados da aprendizagem.*

1. Introdução

Embora a Realidade Virtual (RV) como tecnologia na educação ainda esteja nos primeiros estágios [1], pesquisas e desenvolvimento significativos têm sido dedicados a este tema nos últimos anos. Entretanto, ainda há lacunas no conhecimento e compreensão sobre como desenvolver soluções de RV para apoiar o aprendizado [3]. Seja devido a novidade

ou possibilidades, a RV tem um potencial relevante para seu uso na educação, evitando consequências que podem ser consideradas negativas, tais como a segurança dos usuários ou o gasto de recursos dentro de um mundo simulado [2].

Por outro lado, essas tecnologias educativas podem auxiliar o aprendizado, principalmente nas áreas STEM, em que a complexidade dos conteúdos e as habilidades que se requerem durante seu aprendizado exigem grandes esforços por parte dos estudantes, tornando-se necessária uma variedade de ferramentas de apoio.

Assim, este trabalho explora o uso da RV como ferramenta complementar durante o aprendizado de conceitos específicos da cinemática. Um Jogo Sérioso (JS) em RV (JSRV) focado na experimentação do movimento parabólico foi desenvolvido. Este JS é um instrumento que aproveita as principais características da RV e combina-as com aquelas dos JS, fornecendo uma experiência engajante e eficiente para o aprendizado da Física.

Para avaliar os resultados da pesquisa, foi conduzido um conjunto de experimentos com estudantes de ensino médio, aplicando-se testes de conhecimento, testes de usabilidade do jogo, avaliações de engajamento e presença em RV. Ainda como método complementar foram utilizadas a captura de tela para o entendimento das reações perante o jogo e a análise estatísticas para a análise dos resultados obtidos. O objetivo principal é entender o impacto do uso do JSRV no engajamento, presença e resultados de aprendizado, além de entender as inter-relações entre eles.

O restante deste documento apresenta na Seção 2 alguns trabalhos relacionados ao tema, os métodos da pesquisa se encontram na Seção 3 e na Seção 4 os resultados e discussões, sendo finalizados pelas conclusões na Seção 5.

2. Trabalhos relacionados

Foi seguido o protocolo PRISMA para localizar estudos com foco em JS semelhantes ao proposto, ou aplicações que usem RV como tecnologia durante o ensino e aprendizado de STEM. Esses achados foram classificados em quatro grandes grupos.

Primeiramente, procurou-se lacunas ou recomendações em aplicações similares que utilizaram RV para o ensino ou aprendizado da Física [Handoko and Gunawan 2019]. Neste caso, resultados assinalam que a RV é utilizada na visualização de fenômenos físicos que não são possíveis de visualizar no mundo real (e.g., campos magnéticos ou elétricos). A tendência está na linha de desenvolver aplicações mais interativas e imersivas (usuário já não tem o papel passivo). Os *game-engine* para o desenvolvimento das aplicações foram principalmente Unity and Unreal, devido às bibliotecas prontas para integração de RV e simulação dos comportamentos na Física.

Em um segundo grupo, focou-se em resultados de aprendizado, engajamento, presença e usabilidade. Apesar de resultados de aprendizado positivos, algumas características como a falta de grupos de controle, deixam uma lacuna sobre a confiança desses resultados. Parece existir ainda uma relação entre estas características que precisa ser explorada, questionando assim se o engajamento é produzido pela natureza da RV como tecnologia ou pela novidade ao ser usada pela primeira vez.

No terceiro grupo procurou-se recomendações para o design e implementação de ambientes de aprendizado de STEM baseado em RV. Assim, a tendência do design é fornecer experiências ativas. Recomenda-se manter alto engajamento integrando diferentes

instâncias de *agency* assim como controle genuíno do conteúdo [Johnson-Glenberg 2019].

Além desses três grupos duas revisões sistemáticas foram adicionadas de forma a complementar a revisão da literatura [Oyelere et al. 2020] [Pellas et al. 2020]. Achados principais assinalam um enfoque ativo (*hands-on*) para o aproveitamento do potencial educacional transformador da RV. Estudos e pesquisas foram desenvolvidos em laboratórios e ambientes educacionais formais, mas falta expandir o escopo a outros espaços.

3. Métodos

Uma pesquisa experimental, analítica e aplicada foi conduzida. O processo foi planejado em quatro etapas: (A) Definição das características da pesquisa; (B) Desenvolvimento do jogo; (C) Avaliação experimental; e (D) Coleta e análise dos dados, sendo as etapas (A) e (B) foram executadas em paralelo.

No bloco (A), foi definido o escopo e objetivos da pesquisa. Durante esta etapa foi definido o perfil dos estudantes (ensino médio e primeiros anos do ensino superior), de especialistas e profissionais em ensino, desenvolvimento de jogos, pesquisa em jogos educacionais e desenvolvimento de software. Além disso, foi submetido o projeto para o comitê de ética da Universidade, com aprovação N° 4798226. Durante este bloco também foram selecionados questionários e testes de conhecimentos a serem aplicados durante os experimentos (veja Tabela 1). Visando maior confiança nos resultados da pesquisa, os instrumentos foram baseados em outros estudos, com algumas adaptações, principalmente a tradução do idioma inglês para o português. Detalhes dos instrumentos estão no documento completo da dissertação.

Tabela 1. Instrumentos de avaliação

	Instrumento	Data	Tipo de data
T0	Questionário perfil participante	Gênero, idade, experiência previa em RV, interesse em STEM	Quantitativo
T1	Pre- e Pós- teste conhecimentos cinemática	Desempenho conceitual. pontuação geral 0-100 pts	Quantitativo
T2	Questionário engajamento do jogo (GEQ)	Escala likert engajamento (1-5)	Quantitativo
T3	Questionário de presença em RV	Escala likert engajamento (1-7)	Quantitativo
T4	Avaliação heurística da usabilidade	Escala likert engajamento (1-7)	Quantitativo
T5	Captura da tela	Tempo de distração produzida por elementos auditivos e visuais.	Qualitativo

O Bloco (B) inclui as etapas adotadas para o desenvolvimento do jogo. Assim, em paralelo com o Bloco A, delimitou-se o escopo dos conteúdos e os conceitos chave da cinemática que seriam atingidos (relação escalar e vetorial entre as magnitudes físicas, tempo de voo, trajetória parabólica, relações entre o ângulo de elevação e a distância atingida). As mecânicas, objetivos e níveis do jogo foram planejados de forma a facilitar o aprendizado e a manutenção do engajamento do usuário. Além disso, o desenvolvimento foi realizado com o software Unreal engine V4.26 para os Óculos Rift S. Ainda durante esta etapa foi conduzido um teste piloto com estudantes e especialistas visando identificar defeitos e receber o *feedback*. Uma segunda versão do jogo foi utilizada durante a parte experimental com os grupos amostrais. (Ver vídeo do jogo).

No bloco (C) foi determinado o tamanho das amostras em 31 participantes por grupo, para atingir uma confiança de 90% e um erro não maior que 15%. O experimento

foi conduzido com dois diferentes grupos (Experimental e Controle). Os experimentos com o jogo foram realizados em um laboratório, com duração média de 45min. Ao iniciar, participantes preenchem um questionário de perfil (e.g., Idade, gênero) e os questionários de pré e pós-testes de conhecimento. Porém, no grupo experimental, os estudantes utilizam o jogo entre o pré e o pós-teste, de forma que seja possível, na comparação com o grupo de controle (que não fazem uso do jogo), avaliar a compreensão de conceitos e conhecimentos adquirido. Complementarmente, o grupo experimental preenche questionários de engajamento e presença em RV. Finalmente, a captura da tela foi salva em formato de vídeo para serem analisados.

O bloco (D) inclui as análises estatísticas e resultados, que neste documento são apresentados na próxima seção.

4. Resultados e Discussões

Os experimentos foram conduzidos em duas instituições de ensino médio, sendo uma na cidade de Piracicaba e outra na cidade de Limeira, ambas no estado de São Paulo, Brasil. Para não identificar os resultados, as instituições foram randomicamente nominadas como Escola-A e Escola-B. Participantes nas duas escolas têm idades entre 17-18 anos e não indicam experiência prévia em RV. A Escola-A inclui 64 estudantes, 32 no grupo de controle (28 Homens e 4 Mulheres) e 32 no grupo experimental (7 Homens, 24 Mulheres e 01 não declarado). A Escola-B tem 70 estudantes, 35 no grupo de controle (26 Homens, 8 Mulheres e 01 não declarado) e 35 no grupo experimental (21 Homens e 14 Mulheres).

Resultados de aprendizado: Análises estatísticas foram conduzidas com os resultados de pré- e pós-testes de conhecimento, visando identificar diferenças no aprendizado entre os grupos de controle e experimental nas escolas A e B. Determinou-se a diferença entre as notas (DEN) do pós-teste e do pré-teste como um indicador do incremento no aprendizado. O teste de Shapiro-Wilk indicou uma distribuição de dados não normais ($p < 0,05$). Foi então realizado um segundo teste, o de Mann-Whitney e assim determinou-se que os grupos experimentais tanto na Escola-A quanto na B tiveram melhor desempenho do que os grupos de controle ($p < 0,05$). Além disso, foi calculado a porcentagem de incremento no aprendizado entre os alunos do grupo experimental, obtendo como resultado na Escola-A um incremento de 50% e na B de 53%. Se considerarmos todos os alunos (i.e., Escolas A e B) em uma única análise, o incremento geral foi de 52%. Foi realizado uma análise complementar considerando o gênero, identificando-se que tanto mulheres quanto homens atingiram um mesmo nível de aprendizado, embora o grupo de homens foi o que teve maior incremento.

Resultados de engajamento e presença VR: Os resultados gerais de engajamento atingiu uma pontuação de 3,0 (máximo de 5,0) na escala Likert. Além disso, perguntas que foram divididas em quatro dimensões, forneceram uma melhor distribuição dos dados. A imersão atingiu a maior pontuação de 4,52, seguido de presença com 3,65. As menores pontuações foram do Fluxo com 2,77 e de absorção com 2,88. Após análise das respostas individuais foi identificado que pontuações altas têm relação, por exemplo, com a coerência entre os movimentos no ambiente virtual e os da vida real com aqueles que foram planejados no jogo. Elementos como a narrativa e tutorial do jogo permitem, ao início da experiência, uma melhor adaptação. As pontuações menores têm relação com uma falta de maior *feedback* ao longo do jogo, o que diminui a segurança dos estudantes.

Da mesma forma, algumas diferenças de gênero foram identificadas, onde o grupo de mulheres tiveram melhores indicadores do que o grupo de homens. Análise de correlação de Pearson foi conduzida visando identificar correlações entre os questionários de engajamento e de presença com os resultados de aprendizado, mas não foi identificada nenhuma correlação média ou forte. Portanto, embora com indicadores positivos, não foi possível determinar se o aprendizado depende do engajamento ou da presença em RV.

Usabilidade: 12 heurísticas de Nilsen adaptadas para RV [Sutcliffe and Gault 2004] foram analisadas por especialistas conseguindo uma pontuação geral de 6,2 (máximo de 7), contribuindo na confiança de uma boa usabilidade.

Captura de tela: Finalmente, a captura de tela permitiu identificar outros fatores relacionados com o comportamento dos participantes durante o jogo. Assim, se identificou como alguns elementos visuais e sonoros podem produzir uma sobrecarga cognitiva, percebendo-se ainda que a intensidade do estímulo parece perder força a cada repetição.

5. Conclusões

Durante a pesquisa, um Jogo Sériο em Realidade Virtual foi planejado, implementado e avaliado, com o objetivo de servir como instrumento para se avaliar a sua eficácia no aprendizado da Cinemática. Experimentos, questionários, captura da tela e teste de usabilidade foram conduzidos visando identificar melhorias no aprendizado, bem como, as características do jogo de RV responsável por esse incremento. Resultados de aprendizado indicaram, em média, uma melhoria de 52%.

Usabilidade, Engajamento, Presença em RV atingiram resultados positivos, porém, não foi possível determinar correlações entre esses indicadores com as melhorias no aprendizado. Por outro lado, o método de captura da tela permitiu identificar como efeitos visuais e sonoras influenciam a carga cognitiva, mas o efeito perde força com as repetições deixando, ao final, de ser um fator negativo para o aprendizado.

Finalmente, essa pesquisa abriu uma porta para continuar revelando as questões relacionadas com os jogos sérios em RV para o aprendizado de STEM. Novos estudos de longo prazo, em ambientes colaborativos, aplicando outras metodologias poderiam ser conduzidas no futuro.

Referências

- Handoko, E. and Gunawan, D. (2019). Parabolix: Educational Simulation Game on Classical Mechanics Based on Virtual Reality and Perlin Noise Algorithm. In *CONMEDIA*, pages 165–170, Bali, Indonesia. IEEE.
- Johnson-Glenberg, M. C. (2019). The necessary nine: Design principles for embodied vr and active stem education. In *Learning in a digital world*, pages 83–112. Springer.
- Oyelere, S. S., Bouali, N., Kaliisa, R., Obaido, G., Yunusa, A. A., and Jimoh, E. R. (2020). Exploring the trends of educational virtual reality games: A systematic review of empirical studies. *Smart Learning Environments*, 7(1):31.
- Pellas, N., Dengel, A., and Christopoulos, A. (2020). A scoping review of immersive virtual reality in stem education. *IEEE Trans on Learning Tech*, 13(4):748–761.
- Sutcliffe, A. and Gault, B. (2004). Heuristic evaluation of virtual reality applications. *Interacting with computers*, 16(4):831–849.