



Recebido: 31 de outubro de 2019
Revisão: 26 de outubro de 2021
Aceito: 18 de novembro de 2021

Endereço dos autores:

Universidad Federal de Río Grande del Sur (UFRGS)- Av. Paulo Gama, 110 - Bairro Farroupilha - Porto Alegre - Rio Grande do Sul. CEP: 90040-060 (Brasil)

E-mail / ORCID

fabricio_herpich@hotmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-1575-0512>

patriciasilvaufrgs@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-9408-0387>

liane@penta.ufrgs.br

 <https://orcid.org/0000-0002-5669-588X>

ARTIGO / ARTICLE

Efeito das interações dos estudantes de Ciências com Recursos Educacionais em Realidade Aumentada para o desenvolvimento da Habilidade de Visualização Espacial

Effect of science students interactions with educational resources in augmented reality virtual for spatial visualization development

Fabício Herpich, Patrícia Fernanda da Silva e Liane Margarida Rockenbach Tarouco

Resumo: Este artigo tem como principal escopo evidenciar o potencial das interações de estudantes no ensino de Ciências, a partir de recursos educacionais em realidade aumentada e o seu efeito para o desenvolvimento da habilidade de visualização espacial. Para tanto, apresenta uma contextualização sobre o ensino de Ciências, a utilização de laboratórios reais, bem como as suas limitações, apresentando como alternativa o uso de recursos educacionais em realidade aumentada com o apoio de dispositivos móveis. A solução foi testada em atividades complementares ao processo de ensino e aprendizagem de Ciências com alunos de Educação Básica no Brasil. Teve como objetivo investigar se as interações dos estudantes com os recursos educacionais em realidade aumentada podem contribuir para o desenvolvimento da habilidade de visualização espacial. Os procedimentos metodológicos foram organizados em uma abordagem quasi-experimental, através de atividades previstas em um protocolo de testes executados com 208 participantes distribuídos em dois grupos: Controle (n=96 sujeitos) e Experimental (n=112 sujeitos). Em linhas gerais, os resultados desta pesquisa apontam para contribuições decorrentes das interações dos estudantes com os recursos educacionais em realidade aumentada, tanto para o desenvolvimento da habilidade de visualização espacial, como também para a observação do fenômeno e compreensão dos conceitos abstratos a ele associados, formulação e testagem de hipóteses, assim como conclusões a partir das situações experienciadas.

Palavras-chave: Realidade Aumentada, Habilidade Espacial, Simulação de Computador, Visualização; Educação Científica.

Abstract: The main scope of this article is to highlight the potential of student interactions in Science teaching, from educational resources in augmented reality, and its effect on the development of spatial visualization skills. Therefore, it presents a contextualization about Science teaching, the use of real laboratories, as well as its limitations, presenting as an alternative the use of educational resources in augmented reality with the support of mobile devices. The solution was tested in activities that complement the Science teaching and learning process with basic education students in Brazil. It aimed to investigate whether students' interactions with educational resources in augmented reality can contribute to the development of spatial visualization skills. The methodological procedures were organized in a quasi-experimental approach, through activities foreseen in a test protocol carried out with 208 participants divided into two groups: Control (n=96 subjects) and Experimental (n=112 subjects). In general terms, the results of this research point to contributions arising from the interactions of students with educational resources in augmented reality, both for the development of spatial visualization skills, as well as for the observation of the phenomenon and understanding of the abstract concepts associated with it, formulation and testing of hypotheses, as well as conclusions from the situations experienced.

Keywords: Augmented Reality, Spatial Ability, Computer Simulation, Visualization, Science Education.

1. Introdução

Ao investigar o ensino de Ciências, percebe-se o uso de diferentes metodologias, desde a experimentação de situações práticas, até a mera demonstração de atividades, ou mesmo aulas tradicionais que partem de exposição, projeção e livro didático (Arici, Yildirim, Caliklar e Yilmaz, 2019). Por outro lado, Vieira, Fernandes, Maldaner e Massena (2018) destacam que é necessária a interdisciplinaridade e a contextualização dos conteúdos que constituem a base das Ciências. Estes autores defendem a importância da contextualização como elemento de motivação e interesse dos estudantes, pois, usualmente, as dificuldades na aprendizagem em Ciências ocorrem devido aos conceitos abstratos inerentes.

Em um movimento de reformas curriculares ocorrido nos Estados Unidos e no Brasil na década de 1990 o ensino de Ciências passou a ter como foco a alfabetização científica, visando que os alunos compreendessem o mundo a partir da Ciência e da Tecnologia (Batista e Silva, 2018). A partir de então iniciou-se a busca pelo desenvolvimento de uma abordagem de ensino em que as atividades tivessem relação com o mundo real e que fossem centradas no aluno. Observava-se também a necessidade de transformar a abordagem experimental tradicional em uma abordagem em que fosse enfatizado o envolvimento prático e o desenvolvimento de habilidades de raciocínio.

Nesta perspectiva, Kapici, Akcay e Jong (2019) enfatizam que o ensino de Ciências necessita de atividades em laboratórios. Estas, por sua vez, possuem um papel central, pois as experiências práticas fazem com que o ensino aconteça de forma significativa e que sejam lembradas ao longo do tempo. Ademais, Maison, Darmaji, Astalini, Kurniawan e Indrawati (2019) descrevem que as habilidades referentes ao processo científico se baseiam na pesquisa e na aprendizagem ativa, visto que buscam resolver um problema científico e necessitam de investigações constantes. Isto torna possível desenvolver habilidades de aprendizagem que serão utilizadas não apenas no decorrer da vida escolar e acadêmica, aprimorando a capacidade de aprender, compreender e construir conceitos.

De acordo com Irwanto, Saputro, Rohaeti e Prodjosantoso (2019), as atividades desenvolvidas em laboratório de experimentação em Ciências, visam promover o progresso de habilidades científicas para melhorar a capacidade de investigação científica e as próprias habilidades de manuseio laboratorial, bem como a preparação dos alunos para resolução de problemas. Segundo os autores, o método laboratorial é mais eficiente para o ensino de Ciências, pois possibilita aprender por meio da experimentação, obter informações das atividades de laboratório através de manuais, de instruções orais fornecidas pelo professor, além de conceitos e técnicas que necessitam ser lembradas, apreendidas e posteriormente observadas no experimento.

Dentre outras vantagens, a prática laboratorial também possibilita que os estudantes visualizem os conceitos estudados. A visualização espacial (VE) é uma habilidade relevante no processo de aprendizagem em Ciências, pois implica na capacidade de perceber e observar aspectos visuais nos fenômenos estudados que, por vezes, são demasiados abstratos para a compreensão. Além disso, a percepção visual dos fenômenos estudados, enriquecida com recursos que a tecnologia atual

disponibiliza, contribui para ampliar a motivação e o engajamento dos estudantes (Ibáñez, Di Serio, Villarán e Delgado-Kloos, 2019).

Face ao exposto, o presente artigo tem como objetivo apresentar os resultados de uma investigação sobre os efeitos do uso de recursos educacionais em realidade aumentada (RA) para o desenvolvimento da habilidade de VE de estudantes no contexto de ensino em Ciências.

1.1. Laboratórios Reais no ensino de Ciências

Os laboratórios organizados no ambiente escolar geralmente possuem um espaço reduzido. Composto por vidrarias, bancadas, reagentes e equipamentos utilizados pelo professor para fazer a demonstração de atividades experimentais, grupos de alunos com funções previamente definidas ou então a manipulação e exploração individual pelo estudante quando o laboratório consegue atender a demanda.

Conhecido também pelo termo «Hands-on» (Burkett e Smith, 2016; Klahr, Triona e Williams, 2007), esta prática tem seu mérito defendido por diversos autores (Burkett e Smith, 2016; Klahr et al., 2007; Scalise et al., 2011), pois consideram relevante que os alunos possam tomar suas decisões com base no uso de materiais concretos e na exploração de situações que podem ser visualizadas onde o trabalho com materiais palpáveis promove aprendizagens com base na teoria construtivista, a partir da natureza concreta-abstrata do desenvolvimento cognitivo (Burkett e Smith, 2016).

Entretanto, durante o trabalho com atividades práticas, alguns alunos apresentam dificuldades em conseguir desenvolver um experimento adequadamente, conjecturar, interpretar e elaborar hipóteses a partir do que visualizam, obtendo assim, suas próprias conclusões. Para as atividades com o uso de laboratório reais, é necessária a mediação do professor, através de intervenções que tenham como base questionamentos que apoiem as várias etapas de aprendizagem dos alunos e os auxiliem a desenvolver situações que não conseguem formular sozinhos (Kapici et al., 2019).

Ao fazer uso dos laboratórios reais em aulas de Ciências, os professores ainda encontram percalços. Restrições referentes ao espaço físico, disponibilidade de materiais em número suficiente, custos para equipar, manter, repor materiais e insumos podem barrar a sua utilização, bem como o perigo e a responsabilidade em colocar alunos diante de substâncias químicas. Klahr et al. (2007) e Peffer, Beckler, Schunn, Renken e Revak (2015), reforçam aspectos que dificultam o uso de laboratórios reais, enfatizando o tempo demandado para coletar dados, fazer relatórios e, subsequentemente, organizar e limpar os materiais.

Outro fator a considerar é o aluno conseguir atingir o resultado científico esperado durante o desenvolvimento de uma atividade de experimentação, pois isso nem sempre é uma garantia de que a atividade prática foi compreendida. De acordo com Klahr et al. (2007) e Peffer et al. (2015), os feedbacks podem ser confusos e inconsistentes, além de apresentar características abstratas e difíceis de serem observadas e interpretadas, gerando mais dúvidas ao invés de oportunizar a construção de aprendizagens. Diante da dificuldade em compreender o conceito evidenciado pela experimentação, o aluno pode sentir-se desmotivado, pois, de acordo com Masril, Hidayati e Darvina (2019), eles ficam mais motivados ao aprender Ciências

quando podem acompanhar a visualização de conceitos considerados abstratos, que seriam impossíveis de visualizar em outro contexto.

Durante o trabalho com laboratórios de Ciências, o pensamento crítico e habilidades do processo científico necessitam ser aprimoradas, de modo que os alunos possam interpretar e compreender o mundo circundante, e para tanto, o método aplicado pelo professor também deve ser revisto (Irwanto et al., 2019). Neste aspecto, a habilidade de VE é de fundamental importância, pois, segundo Burkett e Smith (2016), pode facilitar o aprendizado de conceitos abstratos, através de representações visuais de processos que seriam invisíveis no mundo real.

Diante vantagens e dificuldades apresentadas relativamente ao uso de laboratórios reais para o ensino de Ciências, passam a ser consideradas as possibilidades do uso de laboratórios virtuais, pois acredita-se que face às limitações de instalação, infraestrutura, segurança e custos de um laboratório de Ciências, os alunos possam experimentar os fenômenos e comportamentos em estudo, a partir de simulações que são razoavelmente idênticas às experiências reais, e, adicionalmente, ter a oportunidade de perceber e visualizar acontecimentos que seriam impossíveis de observar no contexto real.

1.2. Recursos educacionais em realidade aumentada para o ensino de Ciências

Dentre as tecnologias disponíveis para fins educacionais, uma alternativa que tem se apresentado de maneira eficaz consiste na implantação de recursos educacionais em RA. O uso desta tecnologia, possibilita o desenvolvimento de laboratórios virtuais, que de acordo com Nunes et al. (2014), possuem potencial para dirimir a falta de laboratórios reais, um dos grandes problemas do ensino de Ciências enfrentado atualmente nas escolas, possibilitando uma aprendizagem ativa e de cunho prático, uma vez que estes laboratórios ensinam a realização de experimentos que simulam procedimentos reais.

Em relação às vantagens oferecidas pelos laboratórios virtuais, Herpich et al. (2017) descrevem algumas características consideradas relevantes e que promovem uma ampla aceitação no uso destes ambientes virtuais para fins educacionais, consistem em: a) baixo custo, pois os investimentos limitam-se ao desenvolvimento tecnológico, sendo reduzidos os gastos com a compra de vários exemplares de equipamentos e com a manutenção do laboratório em si e a contratação de profissionais para gerenciar as atividades práticas; b) não oferece riscos à segurança e à saúde dos usuários, uma vez que diferente dos laboratórios reais, os estudantes interagem com simulações e não entram em contato direto com materiais perigosos (e.g. reagentes, ácidos, gases tóxicos, radiações, eletricidade e descargas elétricas) que possam causar lesões; e, c) as ações dos usuários não geram danos ambientais, ao contrário do que pode ocorrer em ambientes reais, em que um determinado experimento pode utilizar grande quantidade de energia ou então pode resultar em resíduos perigosos (sólidos ou gasosos) que prejudicam o meio ambiente.

As características inerentes aos laboratórios virtuais devem ser consideradas em seu projeto e implantação, para que seja possível elevar o potencial pedagógico dos seus recursos educacionais no processo de ensino e aprendizagem. Nesta perspectiva, Tarouco (2019) destaca que é necessário planejar e ensinar interações de aprendizagem a serem realizadas nos laboratórios virtuais, oferecer um contexto em que desafios

sejam apresentados e levem a atividades de experimentação, visando testar hipóteses que possam ser capazes de promover a necessária reflexão, a exercitar e instigar atividades de pensamento de alto nível.

Assim como demonstrado na Figura 1, a exploração e experimentação proporcionadas nos laboratórios virtuais favorecem a contextualização e a compreensão do aprendiz sobre os conteúdos de Ciência, através do teste e validação de hipóteses, manipulação e controle de instrumentos, e de interação com simulações realistas. A tecnologia atual permite agregar a estas simulações de experimentos elementos de realidade virtual e aumentada, com imersão, com os quais o estudante pode interagir a partir de computadores ou de dispositivos móveis com um bom nível de realismo e interatividade.

A interatividade ensejada aumenta o nível de participação ativa do aluno que pode ativar comportamentos por parte dos objetos que integram os laboratórios e que podem interagir também entre si, em resposta às manipulações mediante toque (clique) ou entrada de parâmetros que afetam o comportamento dos objetos. As experimentações realizadas nos laboratórios virtuais podem ser bastante realistas em termos de mostrar comportamento e erros normais do experimento. Este contexto favorece a experimentação em condições propícias à compreensão dos fenômenos demonstrados e promovem a abstração e transferência dos conceitos. Esta estratégia proporcionada pelos laboratórios virtuais aumenta a motivação e melhora a atitude dos estudantes conforme destacado por Arici et al. (2019).

Além de possibilitar a aprendizagem ativa dos estudantes, a experimentação em laboratórios virtuais e especialmente no caso de uso combinado com RA, também oportuniza o desenvolvimento da habilidade relacionada a visualização do conceito observado, por exemplo, através de simulações que auxiliem o estudante na representação mental de campos magnéticos. Esta habilidade de VE, segundo Yilmaz et al. (2015), é definida como todas as habilidades usadas para visualizar objetos na mente, conhecê-los de diferentes perspectivas e movê-los, aspectos importantes para o estudante compreender os fenômenos que ocorrem na natureza.

Nesta perspectiva, pesquisas demonstram que a habilidade de VE é essencial para o sucesso na maioria dos campos relacionados a STEM (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática, em Português). Sorby, Casey, Veurink e Dulaney (2013) demonstraram que o desenvolvimento da VE dos estudantes pode melhorar substancialmente o desempenho dos alunos em áreas da STEM, revelando assim, a existência da correlação entre as habilidades espaciais e o sucesso nestas áreas, além de também demonstrar que se trata de uma habilidade que pode ser aprendida pelos estudantes. Outro aspecto relevante, conforme destacado por Chiu, Dejaegher e Chao (2015), consiste no fato de que as experiências em laboratório de Ciências permitem que os alunos interajam com fenômenos científicos observáveis, embora geralmente falhem em estabelecer conexões com comportamentos subjacentes no nível molecular. Já as experiências em laboratórios virtuais e as visualizações baseadas em computador possibilitam que os alunos interajam com conceitos científicos não observáveis.

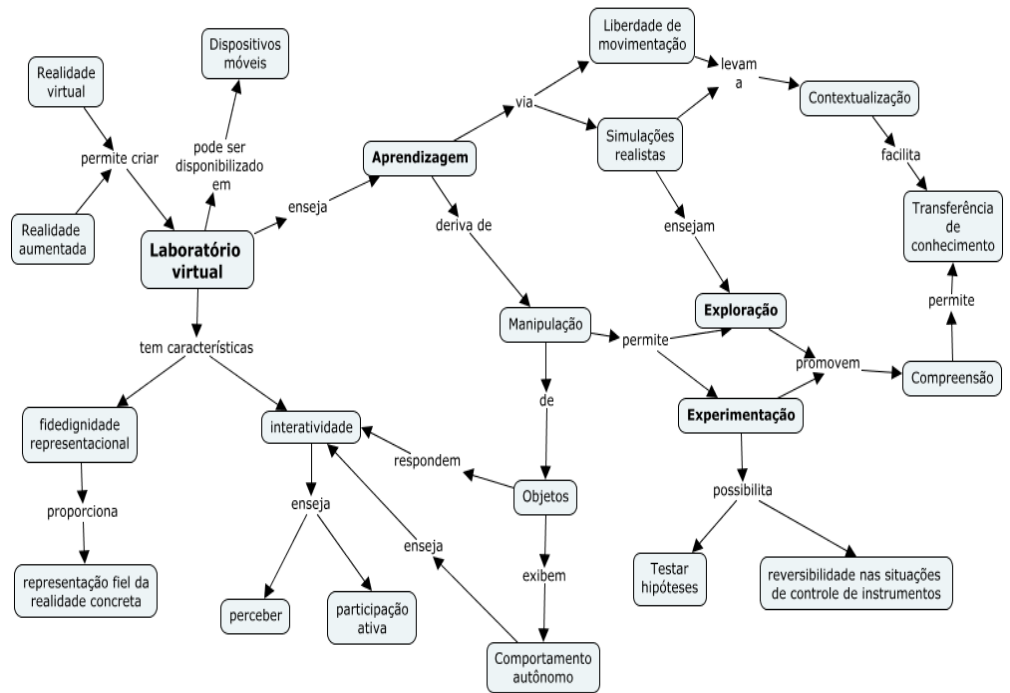


Figura 1. Aspectos relevantes no projeto de um laboratório virtual. Fonte: Tarouco (2019)

Cabe destacar a importância do uso de laboratórios reais, especialmente no ensino de Ciências e Matemática. Face à dificuldade em conseguir a disponibilização de laboratórios reais surgem como solução paliativa os laboratórios virtuais. Entretanto, Tarouco (2019) ressaltam que os laboratórios virtuais naturalmente apresentam limitações em relação aos laboratórios reais por não exibirem todas as nuances que podem ser percebidas em uma experiência real (odor, sons produzidos ou detalhes nas mudanças em curso). Entretanto, com o uso de simulações suficientemente realistas, contemplando interatividade e comportamentos dinâmicos aos seus recursos, em função das ações comandadas pelos usuários (cliques, proximidade, etc), cria-se condições para que o aluno realize experimentos e possa vir para o grupo discutir seus achados, avaliar a sua experiência, refletir sobre o que aconteceu, fazer uma análise crítica de forma colaborativa com os colegas e professor.

Dentre as tecnologias existentes para a implementação de laboratórios virtuais, uma alternativa possível consiste no uso da RA, apontada no relatório da New Media Consortium (Alexander et al., 2019) como recurso em ascensão e com potencial para ser aproveitado no âmbito educacional, especialmente por conta do crescimento exponencial do acesso aos dispositivos móveis, a ponto de permitir uma aprendizagem móvel mais ativa e colaborativa aos seus usuários. Em se tratando das vantagens pedagógicas, os recursos educacionais em RA permitem o acesso dos estudantes aos conteúdos em seus dispositivos móveis, habilitando assim, que experiências sejam realizadas, onde o aprendiz interage com as simulações disponíveis e também possibilita que haja colaboração com os demais estudantes.

Além disso, Arici et al. (2019) descrevem que as aulas de Ciências, enriquecidas com tecnologias que incluem recursos visuais para o ensino de fenômenos, que não podem ser facilmente examinados em aula, são mais eficazes do que as aulas de Ciências tradicionais. Eles destacam que a combinação de objetos virtuais e reais, proporcionando interação em tempo real e apresentando objetos 3D que são importantes recursos da tecnologia RA, resultam em uma experiência de aprendizado diferenciada na qual o senso de realidade é criado. Adicionalmente, Vieira et al. (2018) destacam que a sobreposição de cenários criados com realidade virtual pode completar o trabalho de contextualização do campo conceitual em estudo, aspecto importante na aprendizagem de Ciências.

1.3. Habilidade de Visualização Espacial

A visualização é um ato mental que representa uma informação visual. Trata-se da capacidade de imaginar a visualização de um objeto de distintos pontos de vista, podendo girar, mesclar e integrar partes do mesmo. Ou seja, é a habilidade de compreender, explorar e interpretar representações visuais e espaciais mentalmente, em que os componentes se movimentam uns em relação aos outros (Nagy-Kondor, 2016).

Há muitas evidências históricas de que a visualização desempenha um papel central nos processos de conceituação de Ciências. Especialmente na área da Física, em que grande parcela dos problemas envolvem a manipulação de representações espaciais na forma de gráficos, diagramas ou modelos físicos científicos (Kozhevnikov, Motes e Hegarty, 2007). A Física examina tópicos de natureza altamente espacial. Os alunos devem visualizar um sistema, manipulá-lo e, então, resolver um determinado problema. Desempenhar tudo isso simultaneamente pode levar a uma sobrecarga cognitiva, fazendo com que o aluno não consiga resolver o problema corretamente. A natureza espacial da Física normalmente faz com que a carga cognitiva imposta ao aluno durante a aprendizagem aumente, especialmente quando precisam processar informações visuais. Algumas dificuldades podem estar enraizadas em dificuldades conceituais, enquanto outras podem surgir de problemas com inteligência espacial e cognição visual (Hinojosa, 2015).

Ao longo dos anos, diversos autores defenderam o aprimoramento da habilidade de VE como fundamental para o bom desempenho em áreas relacionadas à Ciências. Meltzer (2005) afirma que a habilidade de entender e usar imagens é essencial para a compreensão de conceitos em Física. Pallrand e Seeber (1984) destacam que a habilidade de VE é necessária para que os alunos tenham sucesso em cursos como introdução à Física. Kozhevnikov et al. (2007) evidenciaram que a alta habilidade espacial pode aumentar a capacidade das pessoas de obter conhecimento conceitual dos princípios da Física em situações informais. E, Kozhevnikov, Hegarty e Mayer (2002) demonstraram que existe uma correlação entre as diferenças individuais em VE e a resolução de problemas do tipo cinemático. A este respeito, os alunos com alto nível de VE podem, na verdade, ser capazes de compreender conceitos de situações da vida real com mais facilidade do que alunos com baixa capacidade de VE.

Em uma pesquisa educacional com alunos de Física introdutória, Kozhevnikov e Thornton (2006) revelaram que estes não exibiam melhoras significativas em testes de avaliação conceitual após instrução tradicional com aulas expositivas. Na área da mecânica, a maior dificuldade era na interpretação de gráficos cinemáticos e conceitos

equivocados de força e movimento. Para lidar com estas dificuldades, foram utilizados laboratórios com uso de computador e gráficos com dados experimentais em tempo real, o que na visão dos autores permitiu mudanças significativas na compreensão conceitual dos alunos, pois estes tiveram ênfase nas representações visuais e espaciais, evidenciando mais uma vez que o pensamento espacial tem um papel importante no processo de ensino e aprendizagem (Farrell et al., 2015; Nagy-Kondor, 2016).

A habilidade de VE, de acordo Quintero, Salinas, Gonzáles-Mendivil e Ramírez (2015) não é uma característica estática do indivíduo, mas sim um processo dinâmico que pode ser promovido através da interação de objetos reais e virtuais. Essa capacidade pode ser enriquecida com o desenvolvimento de novas tecnologias, como a realidade aumentada (Quintero et al., 2015). A aplicação de recursos educacionais em RA oferece um ambiente de interação aos estudantes, que valoriza a percepção humana através do olhar e contribui para o desenvolvimento da habilidade de VE, ensejando a visualização e a manipulação de fenômenos invisíveis, a possibilidade de observar a partir de diferentes perspectivas e a representação tridimensional de conceitos abstratos. Ao serem inseridos no contexto da sala de aula, os recursos educacionais em realidade aumentada oferecem aos estudantes novas formas de visualizar e interagir com conteúdos, contribuindo para a aprendizagem e também para a habilidade de VE.

2. Método

O design da pesquisa foi o quasi-experimental, sendo elaborado um protocolo de testes (Figura 2) para melhor descrever as etapas executadas e responder a seguinte questão de pesquisa: Os recursos educacionais em RA contribuem para o desenvolvimento da habilidade de VE?

Por se tratar de um estudo quasi-experimental, foi elaborado um protocolo de testes para descrever as atividades que cada grupo desempenhou. Os participantes foram distribuídos aleatoriamente em dois grupos, denominados como Grupo Controle e Grupo Experimental, e suas atividades foram descritas nas seguintes etapas: 1) Pré-teste de VE, com a intenção de verificar o grau de habilidade de VE de cada grupo; 2) Representação das aulas, atividades e conteúdos inerentes a sala de aula, da mesma forma para ambos os Grupos; 3) Uso de materiais tradicionalmente empregados no processo de ensino e aprendizagem da escola, tais como livros e exercícios, para ambos os Grupos, sendo que adicionalmente, o Grupo Experimental também fez uso do aplicativo *avatAR UFRGS*; por fim, 4) Pós-teste da habilidade de VE, a fim de verificar se algum grupo obteve melhora estatisticamente significativa no desempenho da habilidade de VE em relação ao pré-teste.

O procedimento adotado para condução desta pesquisa seguiu a execução do protocolo de testes descrito acima. Durante a interação dos participantes com o aplicativo *avatAR UFRGS*; (em média 95 dias), foram realizados encontros entre os pesquisadores e os participantes da pesquisa, com a intenção de apresentar os recursos educacionais em realidade aumentada e sanar eventuais dúvidas acerca da sua interação (encontros com duração de 45 minutos e periodicidade quinzenal). O professor responsável pela disciplina acompanhou todas as atividades, atuando como mediador e auxiliando na resolução das dúvidas sobre o conteúdo específico da disciplina. Além da interação proporcionada durante os encontros com os

pesquisadores, o professor responsável pela disciplina também incentivou o uso do aplicativo *avatAR UFRGS* durante as suas aulas, como forma de complementar o conhecimento teórico discutido em sala, inclusive conduzindo atividades baseadas nos recursos educacionais em RA disponíveis no aplicativo *avatAR UFRGS*.

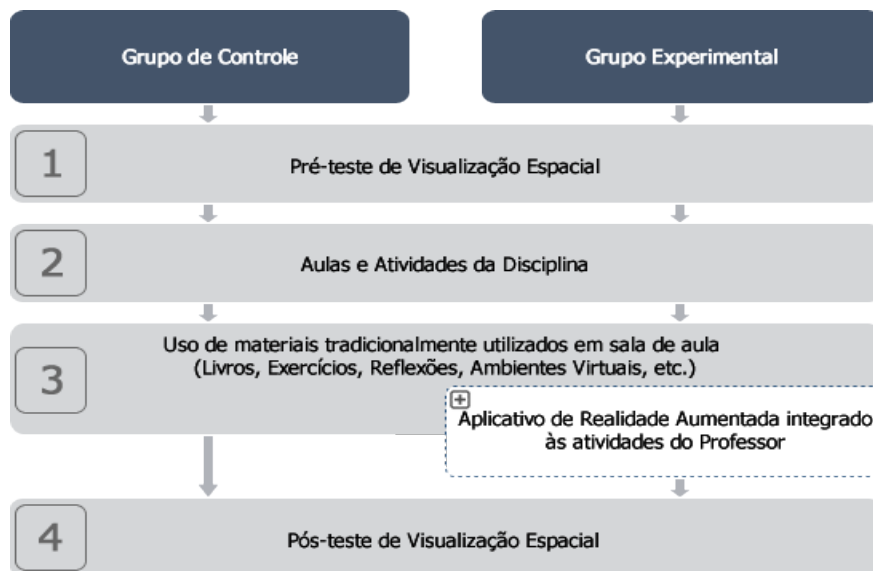


Figura 2. Protocolo de testes.

2.1. Projeto AVATAR

O aplicativo utilizado durante os testes desta pesquisa é intitulado de *avatAR UFRGS* e se trata de um módulo para dispositivos móveis do Projeto Ambiente Virtual de Aprendizagem e Trabalho Acadêmico Remoto (AVATAR) (2021). O *avatAR UFRGS* consiste em uma tecnologia que proporciona aos usuários o acesso a recursos educacionais em RA, através de simulações interativas, com o objetivo de implementar formas de oportunizar a aprendizagem de Ciências. Ao explorá-lo, os usuários têm acesso a diversos recursos educacionais, podendo visualizar fenômenos micro e macroscópicos, por vezes invisíveis a sua percepção, e interagir com diversos recursos multimídia, e.g. imagens, vídeos, objetos 3D e simulações. Cada recurso conta com diferentes níveis, em uma perspectiva gradual do conhecimento, permitindo que o aluno visualize e interaja com os recursos e as diferentes entidades abstratas relacionadas ao fenômeno em questão (Figura 3).

O potencial pedagógico do aplicativo *avatAR UFRGS* consiste nos recursos educacionais em RA disponíveis para a interação do usuário, tais como simulações com que o usuário pode interagir (são mais de 50 simulações, sobre os mais variados conteúdos), que possuem diferentes recursos multimídia, armazenamento dos experimentos no inventário do usuário, além da possibilidade de acesso aos experimentos sem a necessidade de se conectar à Internet. Outra característica do aplicativo consiste na baixa granularidade das informações, oferecendo assim, maior nível de detalhamento ao usuário, como pode ser visto na Figura 3, o conteúdo é apresentado em etapas, sendo possível interagir com o botão de «Nível» para explorar cada conteúdo, suas simulações e respectivas etapas. Esse recurso foi desenvolvido com o objetivo de fragmentar a quantidade de informações apresentadas em tela de

uma vez só, a fim de respeitar o conhecimento prévio de cada usuário (apresentando na primeira tela a informação básica, prosseguindo em direção a informações avançadas). Adicionalmente a estratégia progressiva de disponibilidade das informações em tela, outros recursos multimídia também são disponibilizados ao usuário, concomitantemente ao tempo proporcional necessário para a construção do seu conhecimento.



Figura 3. Aplicativo avatAR UFRGS. Fonte: Herpich (2019).

Ao interagir com o recurso educacional demonstrado na Figura 3 (à esquerda), por exemplo, o usuário tinha acesso ao primeiro nível da simulação de uma balança de dois pratos. Nesta simulação, o usuário poderia interagir com algo do seu cotidiano, arrastando e soltando objetos disponíveis em tela (utilizando o touchscreen) para dentro de um dos seus pratos e observando os efeitos práticos das suas interações diretamente no equilíbrio da balança. No segundo nível, uma nova funcionalidade era apresentada, através da visualização dos vetores de força que atuavam sobre os objetos inseridos nos dois pratos da balança. Recurso este, que não poderia ser visualizado sem o apoio de simulações interativas. Já no terceiro nível, o usuário tinha a possibilidade de interagir com os mesmos objetos dos níveis anteriores, porém, com a intenção de arrastá-los para o alto e soltá-los como se estivessem em nove planetas diferentes, com as suas respectivas gravidades, e, conseqüentemente, visualizar o comportamento destes objetos perante as características gravitacionais de cada planeta. Em termos de informação, os conceitos de massa, gravidade, força resultante e princípio da inércia (Primeira Lei de Newton) eram apresentados. Também era factível a visualização dos efeitos ocasionados aos objetos em diferentes gravidades, algo que dificilmente seria possível ser observado em sala de aula e/ou em práticas laboratoriais. Cada nível da simulação contava com um conjunto complementar de recursos multimídia, composto por imagem, texto, áudio e vídeo, sobre o conteúdo apresentado pela simulação.

2.2. Participantes

Participaram desta pesquisa o total de 208 sujeitos matriculados em disciplinas de Ciências, os quais foram distribuídos aleatoriamente em dois grupos: Grupo Controle e

Grupo Experimental. No Grupo Experimental foram designados aqueles participantes que interagiram com o aplicativo *avatAR UFRGS* (112 - 53,8% dos participantes), já os participantes que não interagiram com o aplicativo foram considerados pertencentes ao Grupo Controle (96 - 46,2% dos participantes).

Ao todo, 57,2% dos participantes desta pesquisa se identificaram como sendo do gênero masculino e 42,8% do gênero feminino (89 participantes). Em se tratando da faixa etária da população, os dados demográficos demonstram que 7,2% pertencem à faixa etária de 14 anos, 27,9% compreendem a faixa etária de 15 anos, 26,9% correspondem a faixa etária de 16 anos, 30,3% estão na faixa etária de 17 anos, 7,2% pertencem à faixa etária de 18 anos, e, por fim, 0,5% correspondem a outra categoria. Acerca do Grupo Experimental, 52 participantes se identificaram como sendo do gênero feminino e 60 participantes no gênero masculino (54% da amostra).

2.3. Instrumento de Coleta de Dados

Para a coleta dos dados envolvendo o nível da habilidade de VE dos participantes, foi adotada a sistematização de pré-teste e pós-teste para ambos os grupos. É importante destacar que no momento da primeira avaliação nenhum participante havia interagido com o aplicativo *avatAR UFRGS* ou com qualquer outro tipo de recurso educacional em RA. A primeira coleta de dados da habilidade de VE (pré-teste) ocorreu durante o primeiro encontro com os pesquisadores, já a segunda coleta de dados (pós-teste) foi realizada no último encontro. Cabe destacar que foi utilizado o mesmo instrumento de coletas de dados, tanto no pré-teste como no pós-teste, havendo um intervalo médio de 95 dias entre a primeira e a segunda coleta de dados.

Para mensurar o nível de habilidade de VE dos participantes, foi utilizado o Teste Informatizado de Visualização Espacial (TVZ) (Prieto, 2010), composto por 20 questões de múltipla escolha (com 9 opções de resposta e apenas uma alternativa correta). Cada questão do instrumento é composta por um cubo que tem todas as faces identificadas com letras. À direita do cubo, aparece seu desdobramento no plano com uma de suas faces identificada e outra marcada com uma interrogação (?). Pede-se ao sujeito que identifique a letra da face marcada com a interrogação e sua aparência (Silva, Joly e Prieto, 2011). Os participantes receberam o tempo máximo de 30 minutos para a realização desta avaliação, tempo determinado pelo autor do teste. Em respeito aos termos da licença de software do TVZ, os itens que compõem o instrumento de coleta de dados não serão apresentados. Acerca do desempenho em Ciências, foi solicitado aos professores uma planilha com as notas dos alunos referentes ao 1º e 2º semestres, sendo calculada a mediana das notas como medida de desempenho.

2.4. Análise dos Resultados

Para efetuar a análise dos resultados e responder a questão de pesquisa com embasamento em testes estatísticos, foram definidas duas hipóteses denominadas de Hipótese Nula (H_0) e Hipótese Alternativa (H_1):

- H_0 : não há diferença significativa no desempenho mediano da habilidade de VE entre o Grupo Experimental e o Grupo Controle.
- H_1 : houve diferença significativa no desempenho mediano da habilidade de VE entre o Grupo Experimental e o Grupo Controle.

Foram desempenhados os testes de Wilcoxon e Kruskal-Wallis, com as amostras pareadas, comparando a mediana do mesmo grupo de participantes tanto no Pré-teste como no Pós-teste. Também foi executado o teste para significação de correlação de Spearman com as amostras do GE, para a análise do desempenho dos participantes nos testes de VE em relação às interações com os recursos educacionais em RA. O intervalo de confiança para a execução dos testes estatísticos foi definido em 95%, o que representa o nível de significância de 0,05.

3. Resultados

Ao executar testes estatísticos para comparar ambos os grupos (Tabela 1), foi possível evidenciar que o desempenho entre os grupos para o primeiro teste de VE não demonstrou diferença significativa em termos estatísticos (p-valor 0.749). Este resultado é considerado favorável, pois demonstra que as amostras eram equivalentes antes da realização das atividades envolvendo os recursos educacionais em RA. Nos resultados do segundo teste que determinou o grau de habilidade de VE dos participantes (pós-teste), foi possível identificar que o desempenho entre os grupos obteve diferença estatisticamente significativa (p-valor <0,001), demonstrando que o Grupo Experimental alcançou um melhor desempenho no segundo teste de VE em relação ao Grupo Controle. Esta diferença estatisticamente significativa observada nos resultados consiste em um importante resultado para esta pesquisa, pois demonstra evidência de que o desempenho da habilidade de VE do Grupo Experimental, entre o primeiro e o segundo teste de VE, não se deu por acaso, permitindo realizar a inferência de que essa melhora significativa está atribuída aos efeitos relacionados à intervenção realizada, ou seja, ao uso dos recursos educacionais em RA pelos participantes.

Outro resultado que corrobora com a discussão (Tabela 1) consiste na melhora do desempenho observado em cada grupo, visto que em ambas as comparações individuais foram constatadas melhoras significativas (p-valor <0,001 para ambos os grupos). Este resultado demonstra que os grupos obtiveram melhora no desempenho entre os testes de VE. Entretanto, nos resultados do segundo teste de VE, é possível observar que há uma diferença estatisticamente significativa nas medianas entre os grupos, indícios que corroboram para a argumentação sobre o efeito do uso dos recursos educacionais em RA para o desenvolvimento da habilidade de VE dos participantes.

Tabela 1. Comparação entre grupos no desempenho de VE e Ciências.

	Controle	Experimental	p-valor
Pré-Teste (VE)	5,75	5,25	0,749
Pós-Teste (VE)	7,00	8,50	<0,001
<i>p-valor</i>	<0,001	<0,001	
Pré-Teste (VE)	6,8	6,7	0,280
Pós-Teste (VE)	7,6	8,2	<0,001
<i>p-valor</i>	<0,2802	<0,001	

Também foram conduzidos testes estatísticos para comparar o desempenho de ambos os grupos em termos do conhecimento em Ciências (Tabela 1). O resultado

demonstrou que no primeiro teste (pré-teste) não havia diferença significativa entre o Grupo Controle e o Grupo Experimental. Por consequência, é possível afirmar que os grupos eram homogêneos e se encontravam em um nível similar de conhecimento em Ciências no início desta pesquisa. Já no segundo teste (pós-teste), foi possível observar que o Grupo Controle obteve uma melhora no desempenho equivalente a 0,8, mas não atingiu um resultado que pudesse ser considerado estatisticamente significativo (p -valor 0,2802). Por outro lado, o Grupo Experimental apresentou uma melhora no desempenho equivalente a 1,5 pontos, correspondendo a uma diferença estatisticamente significativa entre o primeiro e o segundo teste de conhecimento em Ciências (p -valor $<0,001$). Esta evolução no desempenho de Ciências era algo esperado pelos pesquisadores, pois ambos os grupos receberam instruções tradicionalmente executadas, por meio dos professores, aulas, atividades e materiais complementares. Porém, apenas o Grupo Experimental obteve crescimento estatisticamente significativo. Adicionalmente, ao serem comparados os avanços, também é possível destacar que o desempenho entre o Grupo Controle e o Grupo Experimental foi estatisticamente significativo. Os indícios auferidos a partir dos testes de conhecimento em Ciências ajudam a destacar que os participantes não só melhoraram as habilidades de VE, mas também obtiveram melhores desempenhos em termos de conhecimento em Ciências.

Para evidenciar o efeito das interações com os recursos educacionais em RA no desempenho da VE dos participantes, os dados coletados foram dispostos na forma de um gráfico de dispersão (Figura 4), demonstrando a relação entre o desempenho e as suas interações com os recursos educacionais em RA. O valor utilizado para o desempenho foi a diferença entre os resultados individuais de cada participante entre o primeiro e o segundo teste de VE. Já em relação ao eixo com o número de interações de cada participante, o valor utilizado como referência foi a quantidade de interações do participante com os recursos educacionais em RA, informações apuradas nos registros (logs) do aplicativo avatAR UFRGS.

O gráfico de dispersão (Figura 4) evidencia que existe uma relação entre as interações e a performance da habilidade de VE, dado que, à medida que aumentaram as interações, também houve um aumento no desempenho da VE. Isto pode ser verificado através das associações entre as duas variáveis (pontos azuis) e confirmada pela tendência da linha de regressão (linha vermelha), fornecendo indícios de que a tendência observada foi de que quanto maior o número de interações, maior foi o desempenho em VE.

Para determinar o grau da relação entre as variáveis de desempenho em VE e número de interações, foi utilizado o coeficiente de correlação de Spearman. O resultado obtido para o coeficiente foi de 0,90124, demonstrando alto grau de associação entre as variáveis com diferença estatística significativa (p -valor $<0,001$). Este resultado confirma que existiu associação entre as variáveis analisadas por esta pesquisa, em consequência, indica que quanto maior foi o número de interações do participante, maior foi o desempenho em VE. Para corroborar com o resultado observado na correlação de Spearman, foi realizada a análise de regressão visando encontrar o coeficiente de determinação (R^2), medida que corresponde a qualidade do ajuste do modelo estatístico aos dados observados, que varia entre 0 e 1. O resultado obtido para o modelo estatístico foi de 0,8122, demonstrando que o coeficiente de determinação apurado (equivalente a 81,22%) consegue explicar os resultados observados através das amostras analisadas.

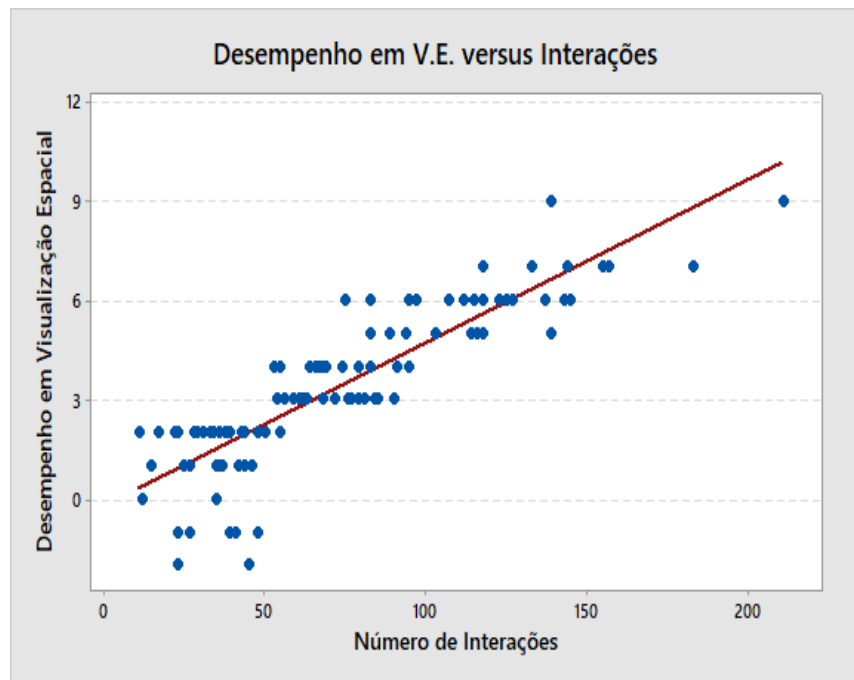


Figura 4. Gráfico de dispersão para o desempenho em VE e o número de interações

Após o término das interações, também foram coletadas as percepções dos participantes sobre as diferenças observadas entre as atividades que envolveram o uso do aplicativo *avataR UFRGS* e as atividades tradicionais. Com base nestas percepções, foi possível evidenciar alguns importantes aspectos que relacionam o uso dos recursos educacionais em RA, com a VE e com o desempenho em Ciências:

«No livro a gente só tem desenhado em 2D e no aplicativo a gente conseguia ver toda a forma de como ele realmente passa o circuito (corrente elétrica) e assim facilita de entender» (Participante 301_24).

«... permite que a gente amplie a visão e a noção do que a gente tá fazendo ali» (Participante 302_16).

«... por exemplo um campo magnético, eu posso acessar o aplicativo e consigo ver o campo magnético e entender o porquê ele está ali» (Participante 302_1).

«... ao usar o aplicativo eu consigo ver coisas sobre o conteúdo, algumas vezes coisas que são até invisíveis» (Participante 201_05).

«...na aula a gente conseguia ver só o desenho do livro e não tinha noção como era o tamanho ou como é que funcionava isso. A professora desenhava 'essa carga é para cá, mas a pessoa 'tá e como funciona o outro lado?'. No aplicativo tem tudo desenhado bonitinho, tem todo o campo magnético, pode mexer nele, girar, parar a simulação» (Participante 302_19).

«Tinha uma simulação sobre o motor do carro em que eu conseguia visualizar o acelerador e o funcionamento do motor, inclusive era possível visualizar o movimento dos pistões quando eu acelerava o carro» (Participante 101_24).

«Tinha outro experimento de planeta que eu podia escolher um planeta e largar um peso e tu via a diferença de gravidade entre os planetas. Em Júpiter, por exemplo, que eu me lembre, a gravidade era mais forte. Aí isso daria até para relacionar, por exemplo, com a teoria da relatividade, dizer que o tempo lá pode passar diferente do que aqui» (Participante 301_24).

«O da bateria, porque eu conseguia visualizar em 3D como a energia passava pelo fio e o sentido da corrente» (Participante 201_05).

«Aquele experimento da pilha, em que saía o campo magnético de cima e voltava pra baixo, os arcos do campo magnético, a interação de aumentar e diminuir a carga, o que ele mostrava pra mim, deu pra ver e foi bem interessante» (Participante 302_02).

«A principal diferença foi que eu acabei me interessando mais pelas aulas, pelo fato de poder ver como é que funciona. Eu prefiro poder ver o que acontece do que só fazer cálculos ou coisas assim» (Participante 301_12).

Diante disso, é possível afirmar que as interações com os recursos educacionais em RA promoveram um efeito positivo sobre os participantes, destacado nas percepções favoráveis originadas a partir das suas experiências com o aplicativo avatAR UFRGS. Estas interações ensejaram o uso de simulações interativas e recursos multimídia (e.g. objetos 3D, vídeos, imagens e informações contextualizadas), mas também a construção de uma compreensão mais profunda em Ciências. Isto se confirmou através dos resultados obtidos nos testes de Ciências, em que foram encontradas diferenças estaticamente significativas (Tabela 1), sendo possível estabelecer uma relação de causa e efeito entre as interações proporcionadas pelo uso dos recursos educacionais em RA e o resultado em termos de aprendizagem no campo conceitual em questão. Além disso, observou-se uma correlação positiva de 0,24403 (p -valor $<0,001$) entre as interações do participante e seu desempenho em Ciências. Assim, pode-se depreender que o uso das simulações interativas possibilitadas pela realidade aumentada melhorou a habilidade de VE (Figura 4) e isto impactou positivamente a aprendizagem.

4. Conclusão

A reconhecida dificuldade dos estudantes em construir o conhecimento sobre Ciências é tema de diferentes pesquisas. Dentre os fatores que podem influenciar positivamente o aprendizado de Ciências, a VE tem sido objeto de estudos ao longo dos anos (Kozhevnikov e Thornton, 2006; Hinojosa, 2015; Nagy-Kondor, 2016). Acerca disto, Ibáñez et al. (2019) esclarecem que a baixa habilidade de VE dificulta a abstração dos fenômenos, uma vez que estas operações mentais de abstração, são demandadas pelos estudantes durante a aprendizagem, contribuindo para visualizar mentalmente os objetos, conhecê-los de diferentes perspectivas e translada-los (Yilmaz et al., 2015).

Em linhas gerais, esta pesquisa apresentou os efeitos das interações com recursos educacionais em RA para o desenvolvimento da habilidade de VE de seus usuários. Para tanto, foi conduzido um estudo quasi-experimental através da execução do protocolo de testes com os estudantes matriculados em disciplinas de Ciências. O protocolo foi composto por testes preliminares (pré-teste) para determinar o nível de habilidade de VE e de conhecimento em Ciências, seguido da intervenção com os recursos educacionais em RA, e, por fim, sendo novamente realizados os testes para

mensurar o nível de habilidade em VE (pós-teste) e de conhecimento em Ciências, a fim de identificar se as interações contribuíram para o desenvolvimento dos participantes.

No que tange à habilidade de VE dos participantes, os resultados permitem rejeitar a hipótese nula e aceitar a hipótese alternativa, concluindo que o desenvolvimento desta habilidade pode ser positivamente influenciado pelas interações com os recursos educacionais em RA. Da mesma forma, é possível concluir que o desenvolvimento de conhecimento em Ciências está correlacionado às interações dos participantes com os recursos educacionais em RA. Foram encontradas evidências que demonstram uma melhora no desempenho em VE dos participantes e indícios de que esta variação está relacionada ao desempenho em Ciências (Tabela 1). Em outras palavras, os testes comprovam estatisticamente que uma boa habilidade em VE aumenta a probabilidade de um indivíduo ter um bom desempenho em Ciências. Estes resultados se alinham com as descobertas apresentadas por Quintero et al. (2015), Chang et al. (2017) e Ibáñez et al. (2019), que demonstraram em suas pesquisas que a habilidade de VE está fortemente associada à aprendizagem em áreas da STEM.

Também foi possível concluir que quanto maior a quantidade de interações que o usuário realizar com recursos educacionais em RA, melhor será o seu desempenho em VE e a sua performance em Ciências. As interações proporcionadas aos usuários com os recursos educacionais em RA constituem-se em um importante instrumento pedagógico, passível de ensinar o processo de ensino e aprendizagem, especialmente ao incorporar o uso de recursos multimídia e simulações interativas para o ensino de conteúdos de Ciências. Ademais, estas simulações permitem que os usuários visualizem os conhecimentos estudados, que por vezes são invisíveis a olho nu, e executem ações para manipulá-los, proporcionando aos mesmos novas formas e perspectivas de compreender os conceitos teóricos na prática, oportunizados através da ação, observação e reflexão.

A influência da habilidade de VE no desempenho de estudantes também foi observado em outras áreas. Città et al. (2019), por exemplo, contextualizaram o papel da habilidade de VE para o desenvolvimento do pensamento computacional e constaram que há uma correlação entre as variáveis. Este fato significa que ter uma boa habilidade de VE aumenta a probabilidade de um indivíduo ter um melhor desempenho no teste de pensamento computacional. Na área de Ciências, Huk (2006) constatou que a habilidade de VE foi capaz de impactar no desempenho de indivíduos ao aprenderem por meio de simulações interativas em 3D, justificando que é através desta habilidade que os estudantes são capazes de extrair informações relevantes e depois reconstruir ou incorporar às informações em seus modelos mentais existentes.

O efeito positivo observado nos resultados da habilidade VE dos participantes, fornece evidências acerca do potencial que o uso dos recursos educacionais em RA possui para apoiar e aprimorar tanto a habilidade de VE dos participantes como também o aprendizado de Ciências (Tabela 1). Esta descoberta mostrou que a abordagem educacional envolvendo o uso de recursos educacionais em RA, que proporciona a possibilidade de interação ativa dos participantes, foi superior à abordagem convencional adotada em sala de aula, tradicionalmente centrada no professor. Entretanto, os resultados evidenciados nesta pesquisa devem ter continuidade com vistas a ampliar a investigação da relação entre habilidades espaciais e o desenvolvimento do conhecimento em Ciências. De modo geral, estas descobertas permitem uma melhor compreensão do potencial da RA e de seus recursos multimídia

na educação, os quais estão em consonância com os princípios da teoria cognitiva da aprendizagem multimídia (Mayer, 2009).

5. Reconhecimento

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES). Código de Financiamento 001 e do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil.

6. Referências

- Alexander, B. et al. (2019). EDUCAUSE Horizon Report: 2019 Higher Education Edition. Louisville: EDUCAUSE. Recuperado a partir de <https://library.educause.edu/-/media/files/library/2019/4/2019horizonreport.pdf>
- Arici, F., Yildirim, P., Caliklar, Ş., & Yilmaz, R. (2019). Research trends in the use of augmented reality in science education: Content and bibliometric mapping analysis. *Computers & Education, 142*, 1-23. doi: 10.1016/j.compedu.2019.103647
- AVATAR. (2021). Página oficial do Projeto AVATAR - Ambiente Virtual de Aprendizagem e Trabalho Acadêmico Remoto. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Recuperado a partir de <http://www.ufrgs.br/avatar>
- Batista, R. F. M., & Silva, C. C. (2018). A abordagem histórico-investigativa no ensino de Ciências. *Estudos Avançados, 32*(94), 97-110. 2018 doi: 10.1590/s0103-40142018.3294.0008
- Burkett, V. C., & Smith, C. (2016). Simulated vs. Hands-on Laboratory Position Paper. *Electronic Journal of Science Education, 20*(9), 8-24. Recuperado a partir de <http://ejse.southwestern.edu/article/view/16255>
- Chang, J. S. et al. (2017). Evaluating the effect of tangible virtual reality on spatial perspective taking ability. 5th Symposium on Spatial User Interaction. doi: 10.1145/3131277.3132171
- Città, G. et al. (2019). The effects of mental rotation on computational thinking. *Computers & Education, 141*. doi: 10.1016/j.compedu.2019.103613
- Chiu, J. L., DeJaegher, C. J., & Chao, J. (2015). The effects of augmented virtual science laboratories on middle school students' understanding of gas properties. *Computers & Education, 85*, 59-73. doi: 10.1016/j.compedu.2015.02.007
- Herpich, F. (2019). Recursos educacionais em realidade aumentada para o desenvolvimento da habilidade de visualização espacial em física. (Dissertação de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil).
- Herpich, F., Rossi, T., Tibola, L., Ferreira, V., & Tarouco, L. (2017). Learning Principles of Electricity Through Experiencing in Virtual Worlds. In D. Beck, Communications In D. Beck, C. Allison, L. C. Morgado, J. Pirker, F. Khosmood, J. Richter, & C. Gütl (Eds.), *Computer And Information Science - Immersive Learning Research Network (ILRN)*, 725, (pp. 229-242). Springer.
- Hinojosa, A. J. (2015) Investigations on the impact of spatial ability and scientific reasoning of student comprehension in physics, State Assessment Test, and STEM courses. [Tese de Doutorado, University of Texas at Arlington]. Recuperado a partir de <http://hdl.handle.net/10106/25121>
- Huk, T. (2006). Who benefits from learning with 3D models? The case of spatial ability. *Journal of Computer Assisted Learning, 22*(6), 392-404. doi: 10.1111/j.1365-2729.2006.00180.x
- Ibáñez, M., Di Serio, Á., Villarán, D., & Delgado-Kloos, C. (2019). Impact of Visuospatial Abilities on Perceived Enjoyment of Students toward an AR-Simulation System in a Physics Course. *2019 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 995-998. doi: 10.1109/EDUCON.2019.8725185

- Irwanto, Saputro, A. D., Rohaeti, E., & Prodjosantoso, A. K. (2019). Using Inquiry-Based Laboratory Instruction to Improve Critical Thinking and Scientific Process Skills among Preservice Elementary Teachers. *Eurasian Journal of Educational Research, 80*, 151-170. doi: 10.14689/ejer.2019.80.8
- Kapici, H. O., Akcay, H., & Jong, T. (2019). Using Hands-On and Virtual Laboratories Alone or Together-Which Works Better for Acquiring Knowledge and Skills?. *Journal Of Science Education And Technology, 28*(3), 231-250. doi: 10.1007/s10956-018-9762-0
- Klahr, D., Triona, L. M., & Williams, C. (2007). Hands on What? The Relative Effectiveness of Physical Versus Virtual Materials in an Engineering Design Project by Middle School Children. *Journal of Research in Science Teaching, 44*(1), 183-203. doi: 10.1002/tea.20152
- Kozhevnikov, M., Hegarty, M., & Mayer, R. (2002). Spatial Abilities in Problem Solving in Kinematics. In M. Anderson, M., Meyer, B., & Olivier P. (Eds.), *Diagrammatic Representation and Reasoning* (pp. 155-171), Springer.
- Kozhevnikov, M., Motes, M. A., & Hegarty, M. (2007). Spatial visualization in physics problem solving. *Cognitive Science, 31*(4), 549-579. doi:10.1080/15326900701399897
- Kozhevnikov, M., & Thornton, R. (2006). Real-Time Data Display, Spatial Visualization Ability, and Learning Force and Motion Concepts. *Journal of Science Education and Technology, 15*(1), 111-132. doi:10.1007/s10956-006-0361-0
- Maison, Darmaji, Astalini, Kurniawan, D. A., & Indrawati, P. S. (2019). Science Process Skills and Motivation. *Humanities & Social Sciences Reviews, 7*(5), 48-56. doi: 10.18510/hssr.2019.756
- Farrell, S. et al. (2015). A profile of the spatial visualisation abilities of first year engineering and science students. *6th Research in Engineering Education Symposium (REES 2015)*. 13-15. doi: 10.21427/D75226
- Masril, Hidayati, & Darvina, Y. (2019). Implementation of virtual laboratory through discovery learning to improve student's physics competence in Senior High School. *Journal of Physics: Conference Series, 1185*, 1-8. doi: 10.1088/1742-6596/1185/1/012114
- Mayer, R. E. (Ed.). (2009). *Multimedia Learning* (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press. doi: 10.1017/CBO9780511811678
- Meltzer, D. E. (2005). Relation Between Students' Problem-Solving Performance and Representational Format. *American Journal of Physics, 73*(5), 463-478. doi: 10.1119/1.1862636
- Nagy-Kondor, R. (2016). Spatial Ability: Measurement and Development. *Visual-Spatial Ability in STEM Education*, 35-58. doi: 10.1007/978-3-319-44385-0_3
- Nunes, F., et al. (2014). Laboratório Virtual de Química: uma ferramenta de estímulo à prática de exercícios baseada no Mundo Virtual OpenSim. *XXV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, 712-721. doi: 10.5753/cbie.sbie.2014.712
- Pallrand, G. J., & Seeber, F. (1984). Spatial Ability and Achievement in Introductory Physics. *Journal of Research in Science Teaching, 21*(5), 507-516. doi: 10.1002/tea.3660210508
- Peffer, M. E., Beckler, M. L., Schunn, C., Renken, M., & Revak, A. (2015). Science Classroom Inquiry (SCI) Simulations: A Novel Method to Scaffold Science Learning. *PLOS ONE, 10*(3), 1-14. doi: 10.1371/journal.pone.0120638
- Prieto, G. (2010). Análisis psicométrico de un test informatizado de Visualización Espacial. In M. C. R. A. Joly & C. T. Reppold (Eds.), *Estudos de Testes Informatizados para Avaliação Psicológica*. (pp. 141-162). São Paulo: Casa do Psicólogo.
- Quintero, E., Salinas, P., Gonzáles-Mendivil, & E., Ramírez, H. (2015). Augmented Reality app for Calculus: A Proposal for the Development of Spatial Visualization. *Procedia Computer Science, 75*, 301-305. doi: 10.1016/j.procs.2015.12.251
- Scalise, K. et al. (2011). Student learning in science simulations: Design features that promote learning gains. *Journal of Research In Science Teaching, 48*(9), 1050-1078. doi: 10.1002/tea.20437

- Silva, D. V., Joly, M. C. R. A., & Prieto, G. (2011). Relação entre habilidades espaciais e desempenho no ensino médio. *Revista Polis E Psique, 1*(1), 61-79. doi: 10.22456/2238-152X.20371
- Sorby, S., Casey, B., Veurink, N., & Dulaney, A. (2013). The role of spatial training in improving spatial and calculus performance in engineering students. *Learning And Individual Differences, 26*, 20-29. doi: 10.1016/j.lindif.2013.03.010
- Tarouco, L. M. R. (2019). Inovação Pedagógica com Tecnologia: mundos imersivos e agentes conversacionais. *Revista Novas Tecnologias na Educação (RENOTE), 17*(2), 92-108. doi: 10.22456/1679-1916.96590
- Vieira, L. B., Fernandes, G. W. R., Maldaner, O. A., & Massena, E. P. (2018). Situación de estudio: ¿qué se están publicando en eventos y revistas del área de enseñanza de las ciencias? *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências, 20*, 1-29. doi: 10.1590/1983-21172018200101
- Yilmaz, R., Baydas, O., Karakus, T., & Goktas, Y. (2015). An examination of interactions in a three-dimensional virtual world. *Computers & Education, 88*, 256-267. doi: 10.1016/j.compedu.2015.06.002

