

Jogos sérios no ensino/aprendizagem conceitual

Jorge Fonseca Trindade^{1,2}, Teresa Fonseca¹, Lara Trindade²

¹Instituto Politécnico da Guarda, Guarda, Portugal

²Centro de Física da Univ. de Coimbra, Coimbra, Portugal

jtrindade.ipg@gmail.com

Resumo — Estuda-se o impacto dos jogos sérios na aprendizagem conceitual em Física, utilizando o jogo *Portal 2*. A amostra da pesquisa consistiu em estudantes de engenharia do ensino superior politécnico com historial de insucesso escolar persistente. O grupo de controle foi ensinado através de um método de pesquisa guiada, enquanto o grupo experimental utilizou o *Portal 2*. Os resultados indicam que os alunos que utilizaram o jogo obtiveram melhores resultados na aprendizagem dos conceitos de Física, comparados ao grupo de controle, o que pode indicar que, nas condições experimentais do estudo, os jogos sérios podem ser facilitadores da aprendizagem de conceitos.

Palavras Chave – Imagética; Simulações; Raciocínio espacial; Jogos sérios; Física.

I. INTRODUÇÃO

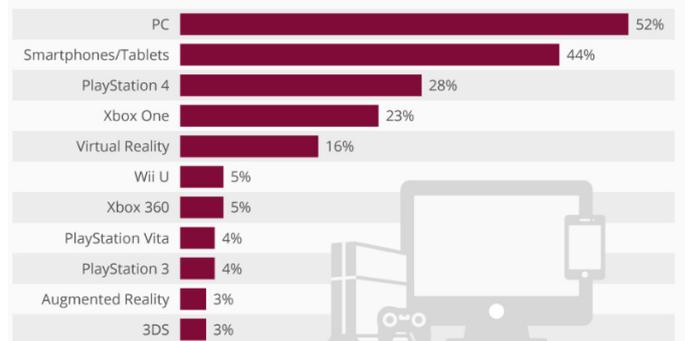
Desde tempos imemoriais que o jogo faz parte da vida do homem, em múltiplos aspetos da sua vida social, educacional e até mesmo como preparação para eventos reais. O exemplo mais paradigmático é o uso de jogos de estratégia militar, quer na antiguidade quer no presente, como meio de preparação estratégica para as batalhas (e.g., *Ludus latrunculorum* e *Kriegsspiel*).

Na educação o jogo tem uma importância acrescida, razão pela qual tem havido uma demanda por métodos de ensino mais lúdicos e motivacionais para os alunos, de acordo com teorias pedagógicas sustentadas na primeira metade do século XX (e.g., Sidney Pressey e Burrhus Skinner). Por isso, desde o surgimento dos computadores pessoais na década de 1980, tem aumentado a oferta de jogos digitais com conteúdo educacional explícito (jogos educativos) e, mais recentemente, de jogos digitais com conteúdo educacional implícito, além do entretenimento (jogo sérios).

A gamificação na educação (processo de aplicar estratégias e dinâmicas de jogo em um contexto educacional) ganhou grande interesse e se constitui como domínio próprio de investigação, devido ao desenvolvimento tecnológico de computadores pessoais portáteis e dispositivos móveis (Fig. 1), desenvolvimento de software com motores de Física (dando realismo e dinâmica semelhante a simulações computacionais de Física), a variedade de oferta de jogos digitais e ao crescimento exponencial do mercado de jogos (Fig. 2), entre outras razões. O crescimento e impacto deste domínio adquiriu proporções suficientemente relevantes na sociedade para ser considerado um estudo de caso no ensino e aprendizagem.

The Most Important Gaming Platforms in 2016

% of developers who are working on a game for the following platforms



Based on a survey of 2,000 game developers
Source: Game Developers Conference

statista

Fig. 1. Em 2016 o PC continuava a ser a plataforma de jogos mais importante com pouco mais de 50% do mercado. Mas a utilização dos dispositivos móveis de informação e comunicação (como smartphones e tablets) têm ganho importância relevante, superando as consolas de jogo (Sarah, 2016).

More people watch GVC than HBO, Netflix, ESPN and Hulu combined.

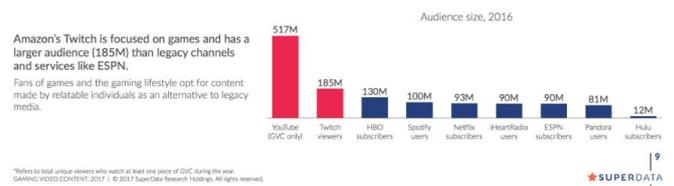


Fig. 2. Segundo estudos da Superdata (Superdata, 2017) em 2017 o mercado de jogos de vídeo tinha uma população mundial estimada em 666 milhões de consumidores, mais do dobro da população dos EUA e logo atrás dos utilizadores de redes sociais.

A gamificação (com características de simulação) ganha um novo status, particularmente no ensino / aprendizagem de ciências exatas como Física (escopo deste artigo). Desde o início do século XX, a Física evoluiu para um quadro crescente de abstração (e.g., teoria da relatividade e mecânica quântica), exigindo até dos cientistas o uso de imagens mentais para

"simular" experiências físicas impossíveis de realizar ou simular computacionalmente (e.g., o experimento de difração de elétrons). Hoje, algumas dessas experiências ficaram acessíveis a um grande público mais leigo, graças a simulações por computador, que abriram uma janela para um mundo de abstração apenas acessível a uma minoria. Desta forma, em contexto educacional, os jogos sérios alimentados por motores de Física podem servir como facilitadores do raciocínio espacial necessário para a compreensão de conceitos mais abstratos e promover a emulação (um tipo de simulação na qual os processos mentais, que "executam" a simulação, emulam aqueles que realmente operariam no cenário simulado) (Fisher, 2006).

Embora a pesquisa no campo da gamificação no ensino não seja conclusiva sobre sua efetividade e ainda haja muitas dúvidas a serem resolvidas, ela aponta que é um meio pedagógico vantajoso para ser usado com alunos com maior insucesso escolar (Adams et al., 2008; Bjælde et al., 2014). Assim, o objetivo deste trabalho é contribuir para o estudo da gamificação na educação, em especial para o ensino/aprendizagem de conceitos da Física clássica com alunos com insucesso escolar persistente, utilizando o jogo *Portal 2*. Para melhor entender que a gamificação no ensino, mais do que uma novidade é um processo natural e irreversível, começamos por substanciar seu uso relacionando-a a raciocínio espacial, imagens mentais e simulações computacionais.

A. Raciocínio espacial

O raciocínio espacial é a capacidade relacionada com a habilidade necessária para, mentalmente, visualizar e manipular modelos em espaços bi e tridimensionais (Baenninger, Newcombe, 1999). Trata-se de uma habilidade relevante quer em situações do quotidiano (desmontar e montar uma bicicleta, decorar a casa, ou simplesmente decidir se é possível fazer uma mesa passar por uma porta), quer em situações lúdicas (fazer construções com "Lego", projetar e construir estruturas em *Minecraft*), quer em áreas de estudo mais abstratas (arte, arquitetura, engenharia e ciências).

Vários estudos indicam que o raciocínio espacial está, frequentemente, articulado a maiores níveis de criatividade, encontrando-se correlacionado com domínios que exigem maior abstração, como as áreas mais técnicas onde predominam conhecimentos de Matemática e de Física. Por exemplo, Kell e colegas (Kell et al., 2013), da Universidade de Vanderbilt, realizaram um estudo com 563 alunos que fornece evidências de que o raciocínio espacial pode ser um melhor preditor do desenvolvimento da criatividade e da inovação do que as apetências cognitivas matemáticas ou linguísticas. Assim, os autores daquele estudo defendem que é fundamental trabalhar essas habilidades nos alunos para propiciar condições adequadas para o desenvolvimento das suas capacidades fomentadoras de inovação científica.

Com esse propósito têm sido conduzidos vários estudos (Feng, Spence, Pratt, 2007) com alunos jovens, utilizando jogos de vídeo (como por exemplo *Medal of Honor*, *Tetris*, *Super Hexagon*, *Lumines*, *The BlockHeads* e *Eden – World Builder*), que sugerem que a sua utilização pode ajudar as crianças a desenvolver as habilidades de raciocínio espacial. As áreas de ensino não estão exclusivamente confinadas às ciências físicas, havendo estudos sobre a utilização de jogos como *World of Warcraft* (Whitcomb, s.d.), *The Civilization Series* (Alexander, 2013), *Minecraft* (Knapp, s.d.), e *SimCity* (Siddiqui, s.d.), para ensinar tópicos tão abrangentes como economia, história e ciências sociais. *Portal 2* é um exemplo de

um jogo de vídeo com aplicabilidade no contexto educativo, que representa um passo importante para uma relação simbiótica entre o *gaming* e a educação, fornecendo um meio prático, flexível e prontamente disponível para o ensino/aprendizagem.

Parece, assim, haver uma confluência natural entre a necessidade de transferir para a área pedagógica do ensino/aprendizagem de disciplinas abstratas, como a Física, novas estratégias pedagógicas e a disponibilidade de ferramentas aglutinadoras, flexíveis e versáteis como os jogos de vídeo do tipo *sandbox*, trazendo para a sala de aula uma dinâmica mais lúdica e cativante há muito reclamada.

Acresce que a maioria dos alunos que chegam às salas de aula de Física trazem já capacidades desenvolvidas e bem trabalhadas em jogos de vídeo. Porque não usar essas habilidades de jogo e o raciocínio espacial desenvolvido para lhes proporcionar um primeiro contacto (na grande maioria dos alunos) com o estudo da Física e ensiná-los em contextos que eles já conhecem e dominam muito bem?

B. Imagética mental e simulação

Em 1897 o físico austríaco Ernst Mach usou pela primeira vez a expressão *gedankenexperiment* ("experiência imaginada", "experiência mental" ou "experiência mental") para denotar uma conduta imaginária de investigação científica, análoga aos procedimentos tradicionais, que deveriam ser usados pelos estudantes para realizar uma experiência de laboratório. Com o desenvolvimento de teorias físicas cada vez mais abstratas, os "experimentos imaginários" têm despertado grande interesse no crescente número de estudos e publicações, mostrando que o processo de "experimentar em pensamento" ainda é de relevância significativa. e constitui uma importante estratégia no desenvolvimento científico (Georgiou, 2005).

Como parte importante na estrutura do conhecimento científico, a imagética mental tem desempenhado um papel significativo em muitas das teorias físicas de hoje (Miller, 2000). Apesar da importância crucial da experimentação na evolução da ciência, foi através de imagens mentais que alguns cientistas revelaram seu gênio, usando sua mente como um "laboratório" e concebendo "experiências imaginadas", o que contribuiu significativamente para desbravar novos caminhos na ciência. Por exemplo, Galileu e Einstein foram mestres nesse processo e, por meio de "experiências imaginadas", abstraíram-se de situações reais, indo além das percepções transmitidas pelos sentidos. A revolução científica no século XVII, com Galileu (que destronou a teoria aristotélica) e a revolução no início do século XX, com Einstein (que destronou a teoria newtoniana) usa esse novo processo de interrogar a natureza para encontrar as leis que governam os fenômenos.

Atualmente, na pesquisa científica e na educação, o uso de imagens mentais continua sendo um recurso inestimável, seja como um primeiro passo para abordar um problema ou como um único meio (Fonseca, 2008). Em ambos os casos, a experiência de laboratório é substituída por uma "experiência mental" e as conclusões são tiradas por julgamentos sobre o que aconteceria se o caso particular da situação descrita em algum cenário imaginário fosse realmente alcançado. Do ponto de vista do desenvolvimento científico, o recurso ao "laboratório" da mente envolve manipulações mentais impossíveis de serem conduzidas por processos empíricos ou por limitações tecnológicas atuais. Do ponto de vista educacional, muitas situações de ensino/aprendizagem em sala de aula são idênticas às "experiências imaginadas", referindo-se

a situações particulares de situações reais, como é o caso da lei da inércia.

Nesse contexto, as imagens mentais são uma espécie de simulação na qual os processos mentais, que a "executam" emulam os processos que realmente operam no cenário simulado. Como um construto psicológico, a simulação mental disponibiliza conhecimento (Fisher, 2006) e opera por analogia sequencial (isto é, os passos da simulação imitam os passos correspondentes da situação representada). Desta forma, as imagens mentais podem ter uma relevância epifenomenal na simulação, assim como a visualização da trajetória de um projétil, em um monitor de computador, desempenha um papel funcional na simulação subjacente. Como todas as simulações mentais fornecem conhecimento sobre eventos específicos, elas fazem previsões específicas. Assim, do ponto de vista da função computacional, imagens mentais e simulação mental são muito semelhantes (Moulton, Kosslyn, 2009).

A simulação é uma característica fundamental da gamificação, que lhe confere interesse educacional com enorme potencial pedagógico. Benjamin (2010) mostrou que gráficos realistas em um jogo são benéficos para o seu valor educacional e o realismo em jogos educativos tem uma influência positiva na transferência de conhecimento, desde que haja espaço para imaginação e criatividade. Os jogos sérios usam equações de Física em seus algoritmos, conhecidos como *game engine*, que permitem obter resultados muito próximos de simulações computacionais autênticas. Alguns dos *game engine* mais conhecidos e utilizados em jogos são, por exemplo, *Unreal Engine*, *Unity*, *Game Maker Studio*, *Cryengine*, *Urho 3D*, *Bullet*, etc.. Por exemplo, *Bullet* é o *game engine* usado pela NASA para simulações robóticas (Bullet, 2014). Gamer (2015) publicou uma síntese em vídeo sobre a evolução dos gráficos de videogame entre 1952 e 2015 e Gameost (2018) publicou um vídeo sobre alguns dos jogos para 2018/19, realçando deste modo o realismo que os *game engine* conferem aos atuais jogos digitais. Realça-se que a referência a essas fontes serve apenas para evidenciar a evolução dos gráficos e capacidades de simulação dos jogos digitais e seu potencial pedagógico.

Ao explorar essas capacidades gráficas e de simulação, o *role-playing game* (RPG) é o tipo de jogo mais usado nas escolas (Ulicsak, 2010), e é também o caso do *Portal 2* usado em nosso trabalho. Os cenários de dramatização podem ser estruturados para transmitir conhecimento declarativo, bem como processual e estratégico, e fornecer a reflexão sobre a ação necessária para o aprendizado efetivo, e é considerada a plataforma ideal para a aprendizagem baseada em jogos. Para fins pedagógicos, Linser (2008) sugere que o RPG está mais próximo de uma simulação do que de um jogo, e argumenta que com a aquisição de conhecimento do mundo real e a compreensão e habilidades adquiridas pelo jogador, uma dramatização é projetada como uma tentativa de simular processos, problemas e condições existentes no mundo real e pode incluir todo o engajamento, imersão e motivação inerentes ao ambiente de jogos de computador. Fortugno e Zimmerman (2005) referem que é o ambiente de ensino em que o jogo é utilizado, o cenário criado em torno do jogo, que estimula a aprendizagem, sugerindo que é o uso de jogos dentro de um ambiente de ensino que facilita a aprendizagem e não meramente o aspecto lúdico.

Atualmente a ciência moderna superou a experiência sensorial. Os computadores tornaram-se os novos instrumentos para ampliar nossos sentidos e intuição, e modelos de computador, simulações e outras representações simbólicas proporcionaram um ambiente para o aprendizado vicário

necessário para construir a intuição humana. A chave não é transformar experiências em abstrações com um computador, mas transformar abstrações, como as leis da Física, em experiências (DiSessa, 1987). Cada vez mais as "experiências imaginadas" estão dando lugar a experiências simuladas. Especialmente na educação, espera-se que hoje a tecnologia da computação e a aprendizagem baseada em jogos sejam usadas em ambientes de simulação para simular problemas reais e preparar melhor os alunos para a solução de problemas.

Hoje, cada vez mais são necessárias novas metáforas visuais para expressar conceitos abstratos, dinâmicos e não lineares, usando meios de computação gráfica e visualização. A visualização por computador pode modificar a maneira como vemos e pensamos sobre os fenômenos, disponibilizando mais informação para nossos sistemas perceptivos, liberando assim o cérebro para níveis mais altos de análise e síntese para a reestruturação de um problema.

C. Jogos digitais e ensino/aprendizagem

Na década de 80 do século XX, o uso crescente de computadores no ensino motivou apelos a reformas educacionais mais lúdicas e interativas. Por exemplo, os americanos Papert (1980) e Bork (1981) foram dois grandes pioneiros no uso de computadores no ensino, incentivando o uso de técnicas pedagógicas inovadoras e atraentes que enfatizavam a compreensão qualitativa dos princípios científicos, enquanto McCloskey (1983) e McDermott (1984) sugeriram usar o computador como uma ferramenta divertida, observando que alguns jogos de computador podem ser muito úteis no ensino/aprendizagem. Embora exista um enorme apelo à imagem e demanda por um aprendizado mais interativo, motivacional, criativo e lúdico, as práticas pedagógicas têm mostrado uma grande inércia à inovação, com atualizações lentas e frustrantes. Na maioria das escolas existem salas de aula com tipologias idênticas às do século XIX, com professores formados no século XX a ensinar alunos do século XXI. Urge esbater estas diferenças com cenários com os quais os alunos possam se identificar e que diminuam o fosso entre a escola e a sociedade.

De fato, hoje o cenário é diferente e cada vez mais os jogos sérios têm um propósito além do entretenimento, com um conteúdo educacional implícito no jogo (Winn, 2008). Sob a designação de *Games-Base Learning* (GBL), tem havido tentativas de usar jogos de computador com conteúdo educacional no ensino, equilibrando os conteúdos a ensinar com o lado lúdico. Segundo Hideo Kojima, um notável designer japonês de videogames, este pode ser um caminho para um novo paradigma educacional visto que "os jogos não devem ser apenas divertidos. Eles devem ensinar ou despertar interesse em outras coisas" (Everwise, 2015).

A pesquisa sobre gamificação começou na década de 1980 com trabalhos como os de Malone (1980), Bowman (1982) e outros realizados para investigar a eficácia dos jogos para processos de aprendizagem (e.g., Gibbs, 1992; Squire, 2003; Virvou et al., 2005; Zepp, 2005; Lieberman, 2006; Pandey, Zimitat, 2007; Bourgonjon et al., 2010; Kim, Chang, 2010;). Egenfeldt-Nielsen (2007) fornece uma visão abrangente dessa pesquisa.

No que ao ensino e aprendizagem de Física diz respeito, se os jogos sérios usam *game engine* que lhes conferem um sólido comportamento de simulação, o mais natural é serem considerados como ferramentas de ensino/aprendizagem conceitual de Física. Devido à sua natureza (às vezes) abstrata, muitos professores de Física advogam, em primeira instância, o

aprendizado de uma Física conceitual ou qualitativa (a noção de que a Física é melhor ensinada não por fórmulas matemáticas), mas sim através de experimentos, laboratórios, demonstrações e visualizações, que ajudam os alunos a entender os fenômenos físicos conceitualmente. Essa perspectiva sustenta que uma compreensão profunda e fundamental da Física fornece uma base sólida para o aprendizado futuro da ciência. Como envolver os estudantes mais jovens no pensamento complexo da Física é um desafio, mas as simulações por computador fornecem uma maneira intrigante de envolver os alunos no estudo de fenômenos físicos abstratos e complexos. As tecnologias digitais podem imergir o aluno em mundos que não apenas representam fenômenos científicos, mas se comportam de acordo com as leis da Física. Mundos simulados podem ser programados para comportar-se por regras newtonianas ou maxwellianas (Trindade, Fiolhais, Almeida, 2002). Ao representar a simulação por meio de convenções de jogos digitais, os professores podem aumentar o engajamento e promover um aprendizado mais profundo, à medida que os alunos se envolvem em jogabilidade crítica e recursiva, geram hipóteses sobre o sistema de jogo, desenvolvem planos e estratégias, observam seus resultados e ajustam suas hipóteses. Experiências em mundos de jogo tornam-se experiências que os alunos podem usar para pensar sobre contextos científicos, usando seus entendimentos intuitivos desenvolvidos em mundos simulados para interpretar problemas de Física. Ao representar conteúdo científico complexo por meio de representações tangíveis, experientes e não mediadas, os mundos simulados também podem envolver alunos relutantes no estudo da ciência. Por exemplo, Godzaridus (2004) observou que apresentar lições de Física aos alunos através de jogos os ajuda a perceber que a Física não é uma disciplina meramente teórica, que só pode ser estudada em laboratórios bem equipados.

Neste contexto, a revisão da literatura revela que os jogos são usados com frequência no ensino de ciências em geral e da Física em particular (Ketelhut et al, 2006, Bourgonjon et al., 2010, Stege et al., 2011). Segundo Joshi (2014), jogos podem ser usados como ferramentas de baixo custo, mas eficazes, para o ensino de Física e em seu estudo realçou que os jogos podem ser muito eficazes por exemplo no ensino de inércia, dinâmica e tipos de colisões. Noutro estudo, Karakaş e Büyükyaydin (2016) examinaram o ensino de conceitos como momento angular, equilíbrio e força, em que os alunos eram instruídos a projetar vários tipos de brinquedos, com inegáveis vantagens na aprendizagem. Também Boucher-Genesse et al. (2011) adotaram temas como as leis de Newton, momento angular e equilíbrio com seus próprios jogos nas aulas de Física, e descobriram que os jogos tiveram efeitos positivos na aprendizagem dos alunos. Foster, Koehler e Mishra (2006) desenvolveram um estudo de aprendizado baseado no jogo *Physicus*: um jogo educativo que busca ensinar aos alunos conceitos básicos de Física relacionados à eletricidade, magnetismo, luz e cor, incorporando estes conceitos em um cenário do tipo “salve o mundo”. Finalmente, Pedersen et al. (2016) desenvolveram o *DiffGame*, para promover a compreensão intuitiva do conceito de diferenciação, necessária para descrever sistemas físicos nos níveis mais superiores de ensino (por exemplo, para calcular a força resultante atuando em um objeto pela determinação da derivada de sua velocidade em relação ao tempo e, assim, obter a aceleração, que é proporcional à força de acordo com a Segunda Lei de Newton).

II. O PORTAL 2

A. Aspectos técnicos

O *Portal* é um jogo de vídeo, do tipo *brain game*, desenvolvido pela *Valve Corporation*, para as plataformas Windows, Mac OS, Xbox 360 e PlayStation 3 (*Valve Corporation a, s.d.*), lançado em janeiro de 2008. Posteriormente foi criada uma versão educacional para professores, *Portal 2 – Educational Version*, que esteve disponível gratuitamente durante um período limitado.

Há duas características que distinguem o *Portal 2* dos restantes jogos do gênero e que o tornam apropriado para o ensino/aprendizagem: o *Puzzle Maker*, um ambiente rico para a resolução de problemas, com uma narrativa interessante que potencia o desenvolvimento de raciocínio, alimentado pelo *Source*, um *game engine* para a modelação realista das interações no vídeo jogo.

O *Portal 2* teve uma ótima adesão por parte de jogadores em geral e da comunidade educativa em particular, obtendo pontuações de 95 em 100 no *Metacritic* (CBS, s.d.). Contudo, logo após o lançamento da versão original, a *Valve Corporation* percebeu que os utilizadores queriam mais desafios do que poderiam disponibilizar (*Valve Corporation b, s.d.*), razão pela qual na segunda versão do jogo, *Portal 2*, lançou o *Puzzle Maker*. Este editor tornava a construção de puzzles uma tarefa fácil e intuitiva, basicamente com procedimentos de ponto-e-clique (Fig. 3), permitindo à comunidade *gamer* contribuir com um reservatório essencialmente ilimitado de desafios (*Valve Corporation c, s.d.*).

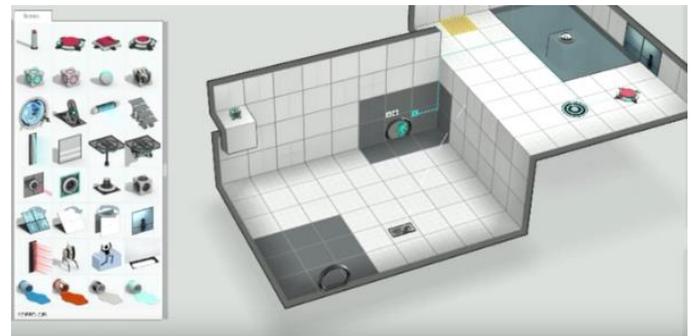


Fig. 3. Utilização do *Puzzle Maker*

O *Puzzle Maker* é um poderoso editor de ambientes gráficos do tipo *sandbox*, que permite aos alunos, fácil e rapidamente, transformar as suas visões em ambientes de jogo personalizados, modelados pelos conteúdos explorados na sala de aula, ganhando uma compreensão conceptual através da manipulação de variáveis como velocidade, atrito, elasticidade, peso, etc. Para os alunos de Física a facilidade de utilização do *Puzzle Maker* é semelhante à liberdade dos alunos de línguas ao utilizarem uma caneta e uma folha de papel. Eles têm a capacidade de moldar um mundo de acordo com as suas especificações, analisá-lo, compartilhá-lo e, finalmente, aprender com isso de forma que nenhuma outra ferramenta possa replicar.

Mas o que faz deste jogo um diamante em bruto na vertente educacional em Física é o seu potente *game engine*, *Source*, que confere uma mecânica ultrarrealista aos vários desafios e que lhe outorga uma vasta aplicabilidade como simulador laboratorial. Os desenvolvedores de jogos reconheceram que a maneira mais fácil de fazer jogos ultrarrealísticos é projetar mundos que seguem as leis da Física, para o qual utilizam

motores de Física (*Physics engines*) (Bourg, 2002). Estes, trabalham em *background* as leis da Física, servindo como uma espécie de matriz subjacente que regem as propriedades dos objetos e as suas interações dentro do mundo do jogo. Existem inúmeros exemplos de motores de Física em uso por jogos modernos, um dos quais é o *Source*, da *Valve Corporation*, utilizado pelo *Portal 2*. Enquanto o *Source* não se distingue significativamente de outros motores de Física, em termos de capacidades tecnológicas, a *Valve Corporation* adicionou recursos que, inadvertidamente (ou talvez não) o tornaram na solução ideal para a simulação de Física de modo lúdico.

B. Aspetos pedagógicos

O interesse pela exploração de plataformas *gaming* no contexto do ensino/aprendizagem resulta, por um lado, do crescimento estrondoso do mercado dos videogames (segundo dados providenciados pela Superdata Research (Superdata, s.d.), é o mercado mais expressivo depois das redes sociais) e, por outro lado, o contributo do realismo dos jogos de vídeo e a sua capacidade de simulação, que melhoraram significativamente nos últimos anos, com cenários, mecânicas e interatividade cada vez mais realisticamente semelhantes ao mundo real.

Se dúvidas havia sobre a possibilidade de trazer para o contexto educativo formal uma atitude mais informal e descontraída, sem diminuir a carga do processo de ensino/aprendizagem, o *Portal 2* aclarou, inequivocamente, a questão. O *Portal 2* é uma referência no mundo dos jogos de vídeo direcionados para o ensino/aprendizagem multidisciplinar, cujos benefícios educacionais têm sido desbravados por professores de várias áreas educacionais (Matemática, Física e ciência geral), de vários níveis escolares e de vários países. Desde o seu lançamento, o seu impacto no contexto educativo foi tão marcante que o jornal *New York Times*, na sua edição de 10 de maio de 2011, publicou um artigo sobre a utilização do *Portal* em contexto educativo, intitulado “Physics, With Wormholes by You” (Schiesel, 2011).

No mundo dos jogos de vídeo há um aforismo popular: um bom jogo tem um bom tutorial, mas um ótimo jogo é o próprio tutorial. *Portal 2* é um destes casos: intuitivo, fácil de utilizar, permite colocar o foco da atenção no que realmente interessa, como a preparação de dinâmicas de jogo com as sequências e especificidades necessárias, de acordo com os objetivos a explorar. *Portal 2* proporciona um ambiente descontraído, apresentando os desafios em ambientes tridimensionais virtuais, envolvidos em enredos mordazmente divertidos, que exploram a nossa compreensão intuitiva da Física, com a finalidade de aplicar conhecimentos adquiridos em novas situações, segundo um modelo de ensino construtivista, que se tem mostrado eficaz.

Trata-se de um jogo em tudo idêntico aos melhores jogos de vídeo que usa uma mecânica de jogo enganosamente simples – a arma do portal, que permite passar para diferentes níveis de jogo, correspondentes a diferentes desafios. Para tal, o aluno deve realizar as experiências apresentadas sob a forma de desafios e puzzles. Os enigmas são resolvidos levando o aluno a deslocar-se e a movimentar objetos entre vários planos usando os portais. Para tal, é necessário delinear estratégias, fundamentadas no conhecimento das leis da Física, sem as quais será impossível resolver os desafios com sucesso. Tudo isto em modo de jogo, num ambiente gráfico tridimensional e com um realismo dinâmico inigualável, dando aos alunos a capacidade de construir e analisar situações modeladas pelas leis reais da Física. Os alunos beneficiam ao usar o jogo de várias maneiras, como por exemplo a capacidade de explorar e

trabalhar com habilidades de pensamento de ordem superior. Por vezes, em sala de aula, perdemos o pensamento lógico, o sequenciamento e o pensamento criativo que precisamos para sermos bem-sucedidos a resolver problemas. O ambiente de jogo permite aos alunos experimentar esses elementos enquanto ainda resolvem “problemas”, como tradicionalmente pensamos neles. No contexto de uma aula de Física, o jogador deve experimentar para descobrir a solução correta, para cada quebra-cabeça, para avançar no jogo.

Dada a natureza (linguagem) intrinsecamente matemática da modelação da realidade Física, restringindo significativamente o universo das pessoas que entendem e “falam” matemática, a maioria dos alunos não tem a preparação de base adequada para entender e expressar-se nessa linguagem. Há necessidade de um “tradutor” que possa mediar as análises quantitativas e qualitativas, colocando o aluno no centro das decisões. O *Portal 2* funciona como uma ponte entre a análise quantitativa da realidade física descrita pela modelação matemática e a sua análise crítica qualitativa traduzida pela interação dos corpos sujeitos às mesmas leis. Existe uma transferência de conhecimento entre duas realidades (virtual e real) sujeitas exatamente às mesmas leis, mas de perspetivas diferentes, mas complementares.

III. UTILIZAÇÃO COMO FERRAMENTA PEDAGÓGICA

A. Objetivos

O objetivo deste trabalho é contribuir para investigar a efetividade do jogo sério *Portal 2* na aprendizagem conceitual de Física, comparativamente ao método de ensino tradicional.

B. Amostra

Os alunos com maior insucesso escolar persistente são os que melhor podem aprender com jogos (Adams et al., 2008; Bjælde et al., 2014), melhorando a sua atenção e concentração (Virvou, Katsionis, Manos, 2005). Neste contexto, a amostra do presente estudo foi composta por um total de 14 alunos (8 no grupo experimental e 6 no grupo de controle), que estudaram Física no primeiro ano de Engenharia. Todos os alunos tinham lacunas na aprendizagem dos principais conceitos de Física e de Matemática e com um historial de absentismo a aulas ou desistência. Esse historial era refletido pelos fracos resultados obtidos no ensino médio e pelo fracasso na disciplina de Física no primeiro ano do ensino superior. Os alunos concordaram em participar do estudo e foram aleatoriamente designados para os grupos experimental ou de controle.

Dos 14 participantes (4 mulheres e 10 homens), 12 tinham experiência em jogos de vídeo e 2 já tinham jogado jogos educativos. Sua idade média era de 20 anos e jogavam cerca de 10 horas de videogame por semana. O grupo experimental tinha uma média de 22,3 horas de uso de computador por semana e o grupo de controle tinha uma média de 20,8 horas por semana.

C. Conteúdos curriculares

O conteúdo curricular previa a abordagem de conceitos estritamente relacionados com a mecânica clássica, cuja abordagem se fazia progressivamente do estudo da mecânica do ponto material até ao estudo da mecânica do corpo rígido, passando pelo estudo da mecânica do sistema de partículas. Tanto os grupos experimentais como os de controle receberam os mesmos conteúdos de Física, que foram especificamente:

- Determinação do valor da aceleração da gravidade.
- Cinemática do movimento de projéteis.

- Leis de Newton.
- Conservação de energia mecânica.
- Estudo de colisões e forças entre corpos.
- Momento de uma força.
- Conservação do momento angular.

Para garantir o melhor desempenho dos alunos houve necessidade de adequar as metodologias de ensino e de avaliação com estratégias que pudessem proporcionar uma participação mais ativa em sala de aula, estimular o aluno a prosseguir o trabalho complementar fora da sala de aula e a despertar o seu interesse em voltar na próxima aula com dúvidas e/ou questões que pudessem suscitar um envolvimento de todos. Assim, a metodologia das aulas seguiu uma estrutura mais livre e dinâmica, sem necessidade de divisões estanques entre aulas teóricas, teórico-práticas, práticas e orientação tutorial.

D. procedimento

O estudo ocorreu durante 6 semanas, com a duração de 4 horas por semana. No total, o estudo durou 22 horas, das quais 16 foram dedicadas à parte experimental. Os alunos pertenciam à mesma turma e tinham o mesmo professor.

Na fase inicial de preparação, os pesquisadores apresentaram aos alunos o objetivo do estudo, deram uma descrição geral do desenvolvimento de todo o trabalho e obtiveram seu consentimento para o estudo. Não foi previamente determinado que os alunos jogariam o jogo de

Conteúdos	Portal 2	Tradicional
Cinemática do ponto material	56%	35%
Leis da dinâmica do ponto material	67%	27%
Conservação do momento linear	61%	19%
Conservação de energia mecânica (incluindo trabalho)	50%	46%
Conservação do momento angular (incluindo momento de uma força)	53%	18%

computador e qual deles seguiria um método tradicional e nenhum dos alunos já havia recebido instruções de seu professor sobre o assunto. Os alunos realizaram um pré-teste sobre conceitos básicos de Física, criado pelos pesquisadores do projeto e revisado por dois professores de Física para assegurar que as questões fossem apropriadas e que as perguntas não fossem confusas ou enganosas. O exame consistiu em 20 perguntas com espaço para os alunos descreverem por que escolheram sua resposta específica. O exame de conteúdo foi determinado para ter uma consistência interna (Cronbach) de $\alpha = 0,75$ para o instrumento, que está dentro de uma faixa aceitável. A constituição dos grupos de jogos e controle foi decidida aleatoriamente. Antes da fase experimental, o grupo de jogo foi treinado por cerca de 90 minutos sobre como jogar o jogo *Portal 2*, tanto por instrução direta quanto guiada, bem como por um manual de usuário desenhado pelo pesquisador.

A fase experimental foi realizada em uma sala reservada para o efeito, dividida em dois lados, com os dois grupos e o mesmo professor. Em cada mesa, havia um computador com conexão à Internet. Os alunos de ambos os grupos receberam instruções escritas, estruturadas de forma semelhante, mas direcionadas especificamente para o jogo de computador (grupo experimental) ou texto de apoio (grupo controle). O grupo experimental usou exclusivamente o jogo, enquanto o grupo de controle foi ensinado através de métodos de consulta guiada, exposições interativas, experimentos, demonstrações, bem como acesso a conteúdos complementares.

Na fase final, ambos os grupos realizaram o teste de Física de 20 itens, que avaliou a compreensão dos conceitos de Física pelos participantes deste estudo.

E. Instrumentos de medição

Este estudo usou uma abordagem metodológica mista quantitativa e qualitativa, para ajudar a interpretar os resultados e fornecer uma visão holística sobre como os alunos aprendem, processam e entendem os conceitos.

Os dados qualitativos resultaram de observações e registros dos pesquisadores e de comentários dos alunos durante a fase experimental e foram analisados usando métodos naturalistas (Lincoln, Guba, 1985). Os dados quantitativos resultaram da análise estatística do *t-Test* para amostra independentes, para procurar várias diferenças entre os dois grupos em relação à intervenção realizada no início e no final do estudo.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme medido pela diferença entre os testes realizados, no grupo experimental houve um ganho de 7 pontos na avaliação de 20 questões, refletindo um ganho estatisticamente significativo para o grupo de jogo (*valor-t* = 4.2, valor de *p* <0.05) (Tabela 1). Esse ganho foi refletido em todos os conceitos de Física em estudo (Tabela 2).

TABELA 1
 DESEMPENHO DOS GRUPOS

Grupo	Pre-test	Post-test	Post-Pre
Experimental	11.75	18.85	7.1
Controle	8.10	10.11	2.01

TABELA 2
 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

Estes resultados indicam que a aprendizagem dos alunos no grupo experimental foi influenciada pela sua interação com o cenário do jogo, o que está de acordo com a reação, comentários e observações registradas durante o estágio experimental.

Os alunos não apenas aprenderam os conceitos, como também foram motivados a fazê-lo com o jogo porque, conforme mencionaram, eles viram como os conceitos de Física poderiam ser usados num contexto prático. No entanto, isto não significa que os alunos tenham compreendido os modelos teóricos subjacentes. O *Portal 2* permite a compreensão de fatos em situações contextuais reais, mas não é claro que isso permita um entendimento sobre o discurso científico. Apesar do bom desempenho do grupo experimental na avaliação pós-desempenho (7 pontos de aumento em uma avaliação de 20 pontos), a maioria dos alunos teve problemas em cálculos matemáticos, incluindo o uso de fórmulas relacionadas aos conceitos em estudo. Nestas circunstâncias, Jong e Van Joolingen (1998) recomendam apoio instrucional adicional para ajudar os alunos a superar seus problemas de aprendizagem.

Além da aprendizagem qualitativa dos conceitos abordados no jogo, os alunos também mostraram claros sinais de reflexão sobre a aprendizagem durante o jogo, o que indica que os

alunos estavam focados nas atividades e sua motivação era intrínseca, aumentando o envolvimento na atividade. e ajudando a melhorar a aprendizagem. No entanto, uma maior motivação para aprender Física em um jogo não significa necessariamente que os alunos aprendem Física. Os alunos do grupo experimental não estavam mais motivados do que os do grupo de controle para aprender Física, eles estavam apenas mais motivados a aprender Física em um jogo do que o grupo de controle. Isso pode ter implicações para o aprendizado de física com jogos como o *Portal 2*, que possui qualidades intrínsecas de aprimoramento motivacional e pode ajudar os alunos a construir experiências relevantes para a compreensão de grandes ideias.

Dada a reduzida dimensão do grupo de trabalho foi possível fazer um acompanhamento individual e em tempo real de cada aluno, registrando as suas observações, críticas e comentários. A análise destes elementos é inequívoca em apontar um feedback dos alunos com uma indicação de clara aceitação da metodologia introduzida e dos assuntos abordados, com realce para vários aspectos:

- Desenvolvimento do sentido de trabalho em equipa. Os alunos ajudavam-se mutuamente na superação de dificuldades técnicas de operação com o *Portal 2*. Esse espírito foi constante ao longo do estudo, inclusive na realização das atividades e na partilha de experiências, contribuindo para uma coesão grupal e verdadeira emoção ao discutirem possíveis soluções para as atividades em estudo.
- Melhoria da capacidade de expressão. Alunos com dificuldades na expressão oral e no pensamento abstrato, mas com excepcionais capacidades de resolução de problemas no *Puzzle Maker* encontraram no *Portal 2* um meio para se expressarem e evidenciar a sua compreensão. Ilustra de forma tangível, como algumas ferramentas podem capacitar os alunos a expressar-se e a trabalhar de uma forma que nenhuma outra pode replicar com a mesma facilidade e ampla aplicabilidade.
- Desenvolvimento da capacidade crítica. Nalgumas atividades (por exemplo, estudo da velocidade terminal) os alunos aperceberam-se de algumas discrepâncias entre os valores da velocidade indicados pelo jogo e os previstos pelas leis da Física, o que suscitou alguma análise crítica. Pesquisa adicional permitiu concluir sobre uma peculiaridade física de *Portal 2*: o próprio jogo impõe uma velocidade máxima de saída de um portal. Embora subtil, alguns alunos perceberam que caindo de diferentes alturas obtinham diferentes medições de velocidade terminal, o que contraria as leis da Física.
- Melhoria do interesse pelos assuntos e dos níveis motivacionais. Sem exceção todos os alunos se entregavam inteiramente ao trabalho, ajudando a solucionar algumas dificuldades, chegando mesmo nalguns casos a proporem novas atividades para além das indicadas no plano de trabalho da aula.

V. LIMITAÇÕES

Este estudo tem várias limitações que devem ser observadas:

- A amostra do estudo foi muito pequena e os resultados obtidos não podem ser extrapolados para populações maiores.
- A amostra foi propositalmente escolhida para abranger alunos com insucesso escolar persistente em Física. Não é possível generalizar as conclusões do estudo para outro tipo de população.
- O estudo foi realizado em um curto intervalo de tempo e não se sabe se os resultados poderiam ser outros se o jogo fosse usado continuamente ou pelo menos, mais regularmente.
- Apenas foram estudados alguns conceitos de Física e, portanto, as conclusões não podem ser generalizadas para todo o domínio da aprendizagem da Física.
- Os testes de conhecimentos utilizados tinham um número relativamente pequeno de perguntas. Embora a consistência interna entre os itens do teste fosse aceitável, não era completamente confiável. Além disso, na pós-avaliação, os escores ainda eram muito baixos, embora apresentassem uma melhoria.
- A avaliação do conhecimento foi realizada imediatamente após a intervenção e não foi possível avaliar os efeitos a médio e / ou longo prazo.
- Pela delimitação temporal do estudo foi utilizada apenas uma parte do jogo e, portanto, não é possível afirmar que todo o *Portal 2* é efetivo no aprendizado conceitual da Física.

Essas preocupações serão abordadas em estudos futuros. Apesar das limitações, o estudo oferece informações a serem consideradas para uma melhor compreensão da importância dos jogos no ensino e aprendizagem de conceitos de Física.

VI. CONCLUSÕES

As ferramentas disponibilizadas pelas TIC não são, seguramente, a panaceia para os múltiplos e desafiantes problemas educativos com que nos deparamos na sala de aula. Mas dão, sem dúvida, uma maior flexibilidade e diversidade de opções que são da competência do professor avaliar e rentabilizar para melhorar a sua missão de ensino e propiciar aos alunos uma melhor aprendizagem. Nesse sentido, propiciam condições para que o ensino/aprendizagem esteja cada vez mais centrado no aluno, premiando as suas capacidades e contribuindo para uma inclusão de todos os alunos. Neste cenário, há um terreno por desbravar, o dos jogos de vídeo, cuja contextualização com o ensino/aprendizagem se mostra cada vez mais adequada graças às inovações tecnológicas no domínio do *gaming*.

Os jogos de vídeo não são ferramentas educacionais autónomas. São viagens de campo, laboratórios e experiências cotidianas, criando oportunidades para que os alunos construam conexões e obtenham entendimentos mais enraizados. Consequentemente, estabelecer a eficácia e melhorar os jogos de vídeo educativos deve depender de métricas que medem as interações na sala de aula do jogo, em vez de fins de aprendizagem específicos. Medir a habilidade de um jogo para reter a atenção, induzir o acoplamento aos conteúdos a ensinar e fazer a ligação ao mundo real, provará o inestimável contributo dos jogos de vídeo como experiências educacionais.

Desperdiçamos recursos valiosos quando não conseguimos aproveitar a habilidade, aparentemente inata, dos nativos digitais de interagir com a tecnologia. Com planificações adequadas é possível criar um ambiente de sala de aula onde os alunos possam simular experiências científicas, mensuráveis,

modeladas pelas leis da Física, podendo explorar e analisar situações impossíveis, ainda que fisicamente precisas, para descobrir leis físicas reais. É uma oportunidade única para professores e inesquecível para alunos, que são encorajados a desenvolver, explorar e aplicar ativamente conteúdos que de outra forma ficaria reduzido ao seu significado simbólico e abstrato (leis da Física). O estudo e uso de jogos de vídeo na educação tem indicado que os jogos de vídeo têm uma profunda capacidade de envolver os alunos e criar experiências memoráveis e ensináveis. Dispomos, claramente, de uma tecnologia nova e impressionante que oferece aos educadores oportunidades pedagógicas singulares, mas ainda temos de compreender plenamente ou utilizar as suas capacidades.

Não será de admirar, pois, se, no futuro, as salas de aula vierem a incorporar ambientes de *gaming* onde os alunos sejam orientados, através de mundos virtuais, pelos professores. O processo parece não ser tão virtual quanto se julgue, dado que já existem projetos desta natureza, para desenvolver jogos especificamente para a sala de aula que enfatizam a ação do professor. É o caso do “Histrionix”, de Brennan (s.d.), e dos trabalhos desenvolvidos no “Center for Games & Impact” (Barab, Gresalfi, Arici, 200). Contudo, há um reconhecimento implícito de que professores e desenvolvedores de jogos terão de cooperar, sob pena do software educacional não almejar o sucesso na sala de aula se o professor não fizer parte da sua conceção, orientação e aplicação.

Este estudo pretende contribuir para a análise do potencial pedagógico de jogos sérios no ensino/aprendizagem de conceitos de Física, particularmente com alunos com insucesso escolar recorrente. O principal resultado foi que o *Portal 2* pode contribuir para melhorar os níveis atencionais e motivacionais de alunos com dificuldades de aprendizagem e contribuir para uma aprendizagem conceitual. No entanto, isso não significa que os alunos entendam o modelo teórico subjacente aos conceitos estudados, ou que o entendimento deles persista a médio e longo prazo.

Finalmente, uma observação sobre nossa percepção da reação do grupo de controle ao estudo realizado. Tínhamos alguma preocupação de que o grupo experimental não considerasse o *Portal 2* como uma metodologia séria de aprendizagem por representava uma ruptura na metodologia pedagógica tradicional. Consequentemente, isso poderia resultar em uma desconexão dos alunos do objetivo final de aprender através do jogo. No entanto, percebemos que o estágio inicial de treinamento e adaptação foi crucial para superar essas limitações e preparar os alunos para as tarefas que vieram a ser realizadas.

REFERÊNCIAS

- Adams W, Reid S, LeMaster R, McKagan S, Perkins K, Dubson M, Wieman C (2008) A study of educational simulations. Part I - Engagement and learning. *Journal of Interactive Learning Research*, 19, 397.
- Alexander B, (2013) “Teaching with a video game: the case for Civilization”, National Institute for Technology in Liberal Education, 6 Oct. 2010. Web. 12 March 2013.
- Baenninger M, Newcombe N, (1999). “The role of experience in spatial test performance: A meta-analysis”, *Sex Roles*, 20, 327–344.
- Barab S, Gresalfi M, Arici A, (2009) “Why educators should care about games”, *Educational Leadership*, 67(1), 76–80, 2009.
- Bjælde O, Pedersen M, Sherson J (2014) Gamification of Quantum Mechanics Teaching. World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education, 218-222.
- Bork A (1981) *Learning with Computers* (Digital Press: Massachusetts).
- Bourg B, (2002) “Physics For Game Developers”, Sebastopol, CA: O’Reilly, 2002.
- Bourgonjon J, Valcke M, Soetaert R, Schellens T (2010) Students' perceptions about the use of video games in the classroom. *Computers & Education*, 54, 1145-1156.
- Brennan R, (s.d.) “Histrionix”, retrieved from <http://histrionix.com/>, s.d., cons. 11/02/2018.
- Bullet Physics Library (2014) Real-Time Physics Simulations. Bullet used in NASA Tensegrity Robotics Toolkit, book Multithreading for Visual Effects. Available at: <http://bulletphysics.org/wordpress/?p=413>. Accessed 23 August 2018.
- CBS Interactive, (s.d.) “Portal 2 for PC Reviews”, retrieved from <http://www.metacritic.com/game/pc/portal-2>, April 18, 2011, cons. 11/02/2018
- Disessa, A. (1987). The third revolution in computers and education. *Journal of Research In Science Teaching*, 4, 343-349.
- Everwise (2015). The Perks of Playing Games at Work. Available at: <https://www.geteverwise.com/company-culture/the-perks-of-playing-games-at-work/>. Accessed 23 August 2018.
- Feng J, Spence I, Pratt J, (2007) “Playing an Action Video Game Reduces Gender Differences in Spatial Cognition”, *Psychological Science*, 18(10), pp. 850–855, January 2007.
- Fisher J (2006) Does simulation theory really involve simulation? *Philos. Psychol.* 19, 417–432.
- Fonseca T (2008) *Visualização Mental, Concentração e Desempenho Desportivo*. Uni. Porto: Ph.D thesis. Available at: <http://www.fade.up.pt/cifi2d/files/teresa-fonseca.pdf>. Accessed 5 August 2018.
- Fortugno N Zimmerman E (2005) Learning to Play to Learn – Lessons in Educational Game Design. Available at: http://www.gamasutra.com/features/20050405/zimmerman_01.shtml. Accessed 2 June 2009.
- Foster A, Koehler M, Mishra P (2006) Game-based learning of physics content: the effectiveness of a physics game for learning basic physics concepts. 2119-2125.
- Gameost (2018) Top 12 AWESOME Single Player Games 2018-2019 | Most Anticipated Games PS4, Xbox, PC”. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=nJ8XTf8rEpK>. Accessed 20 August 2018.
- Gamer S (2015) Evolution of Video Game Graphics 1952 – 2015. Available at: https://www.youtube.com/watch?time_continue=91&v=xKVS_81Op5A. Accessed 20 August 2018.
- Georgiou A (2005) Thought Experiments in Physics Problem-Solving: On Intuition and Imagistic Simulation. Thesis presented for the degree of Master of Philosophy in Education, University of Cambridge.
- Godzaridis C (2004) Physical education and games, and concepts of Physics: An interdisciplinary approach. *Science Education international*, 15 (2), 161-166.
- Jong T, Joolingen W (1998) Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, 68, 179-202.
- Joshi S (2014) Physics of Gulli-Danda. *Physics Education*, 30(1), 36-48.
- Karakaş D, Büyükkaydn B (2016) Physics toys used for efficient learning in physics. *International Conference New Perspectives in Science Education*.
- Kell H, Lubinski D, Benbow C, Steiger J, (2013). “Creativity and Technical Innovation: Spatial Ability’s Unique Role”, *Psychological Science*, 24(9), pp. 1831–1836, April 2013.
- Ketelhut D, Dede C, Clarke J, Nelson B (2006) A multi-user virtual environment for building higher order inquiry skills in science. Paper presented at the 2006 AERA Annual Meeting, San Francisco, CA. Available at <http://muve.gse.harvard.edu/rivercityproject/documents/rivercitysympinq1.pdf>. Accessed 28 November 2017.
- Knapp A, (s.d.) “Using Minecraft as a Teaching Tool”, retrieved from <https://www.forbes.com/sites/alexknapp/2011/04/05/using-minecraft-as-a-teaching-tool/#7f7ffc617981>, April 5, 2011, cons. 11/02/2018
- Linser R (2008) The Magic Circle – Game Design Principles and Online RolePlay Simulations. *Proceedings of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and telecommunications 2008 Vienna, Austria*, 2008, pp. 5290–5297.
- Malone T (1981) Toward a theory of intrinsically motivating instruction. *Cognitive Science*, 5(4), 333-369.
- McCloskey M (1983) Intuitive Physics. *Scientific American*, 249, 114-117.
- McDermott L (1984) Research on conceptual understanding in Mechanics. *Physics Today*, 37, 24-31.
- Miller A (2000) *Insights of Genius: Imagery and Creativity*. Science and Art, MIT Press: New York.
- Moulton S, Kosslyn S (2009) Imagining predictions: mental imagery as mental emulation. *Phil. Trans. R. Soc. B* (2009) 364, 1273–1280.
- Papert S (1980) *Mindstorms - Children, Computers, and Powerful Ideas* (Basic Books: New York).

- Pedersen M, Svenningsen A, Dohn N, Lieberoth A, Sherson J (2016) DiffGame: Game-based mathematics learning for physics. *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 228, 316-322.
- Sarah (2016) Majority of Gamers Vote for VR/AR – Gaming Platform in 2016. Publicado em: <https://graphs.net/majority-of-gamers-vote-for-vr-ar-gaming-platform-in-2016.html>. Acessado em: 9 setembro 2018.
- Schiesel S, (2011) “Physics, With Wormholes by You”, *The New York Times*, retrieved from http://www.nytimes.com/2011/05/11/arts/video-games/portal-2-a-video-brain-game-review.html?_r=0, May 10, 2011.
- Siddiqui A, (s.d.) “Playtime Online: Master Planners: What Does SimCity-based Curriculum Look like?”, retrieved from <https://www.instituteofplay.org/single-post/2013/03/27/Playtime-Online-Master-Planners-What-Does-SimCity-based-Curriculum-Look-Like>, 2013, March 27, cons. 11/02/2018
- Squire K (2003) Video games in education. *International Journal of Intelligent Simulations and Gaming*, 2(1), 49–62.
- Stege L, Van Lankveld G, Spronck P (2011) Teaching electrical engineering with a serious game, *Serious Games - Theory, Technology & Practice: Proceedings of the GameDays 2011* (Josef Wiemeyer & Stefan Göbel, eds.). TU Darmstadt, Darmstadt, DE, 29-39.
- Superdata, (s.d.) “Gaming Video Content”, retrieved from <https://www.superdataresearch.com/market-data/gaming-video-content/>, s.d., cons. 11/02/2018
- Trindade J, Fiolhais C, Almeida L (2002) Science learning in virtual environments: a descriptive study. *British Journal of Educational Technology*, 33 (4).
- Valve Corporation a, (s.d.) www.valvesoftware.com/games/portal2.html, s.d., cons. 11/02/2018
- Valve Corporation b, (s.d.) “Portal 2 Perpetual Testing Initiative” [YouTube Video], retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=b7rZO2ACP3A>, April 27, 2012, cons. 11/02/2018
- Valve Corporation c, (s.d.) “Making, Playing & Publishing Maps”, [YouTube video], retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=zhQD8Am2n6o>, May, 1, 2012, cons. 11/02/2018
- Virvou M, Katsionis G, Manos K (2005) Combining software games with education: evaluation of its educational effectiveness. *Educational Technology & Society*, 8(2),54-65.
- Whitcomb D, (s.d.) “World of Warcraft as a teaching tool”, retrieved from <https://www.engadget.com/2008/10/04/world-of-warcraft-as-a-teaching-tool/>, October 10, 2008, cons. 11/02/2018.