

## **BIM AO SERVIÇO DA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM EDIFÍCIOS ATRAVÉS DE UMA PLATAFORMA DE REALIDADE VIRTUAL**

**Duarte Cruz <sup>(1)</sup>, António Aguiar Costa <sup>(1)</sup>, Norberto Moura <sup>(3)</sup>**

(1) Instituto Superior Técnico

(2) CERIS/IST, Universidade de Lisboa

(3) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo

### **Resumo**

Nos últimos anos, a segurança contra incêndios sofreu um considerável desenvolvimento em vários sectores. O sector da Arquitetura, Engenharia e Construção não escapou a esta evolução e novos ou melhorados modos de assegurar a segurança foram sendo estabelecidos. Esta crescente preocupação é bem visível com a introdução em vigor do novo Regulamento Geral de Segurança Contra Incêndios em Edifícios (RGSCIE) estabelecido pelo Decreto-Lei n.º 220/2008, de 12 de Novembro e pelas suas mais recentes alterações.

Neste contexto, a constituição dos planos de emergência de um edifício é, mais do que nunca, um ponto fundamental e obrigatório para qualquer projeto de edificação, e a existência de Planos de Segurança (PS) e a realização de simulacros de evacuação de edifícios são de particular importância para a segurança e proteção dos utilizadores. No entanto, é frequente haver discordância entre o que o PS prevê e o que realmente acontece numa situação de emergência e isso pode dever-se a vários fatores, como imperfeições construtivas (relativamente ao projeto), cálculos errados ou insuficientes quanto ao dimensionamento (p.e.: no dimensionamento de saídas de emergência face o número de utilizadores, dimensão da caixa de escadas, etc.), pressupostos errados ou inadequados quanto ao comportamento humano em situações de emergência, entre outros.

Face às dificuldades em executar simulacros com resultados expressivos, que validem e comprovem a eficácia e eficiência dos planos de segurança, principalmente em fases preliminares, as novas tecnologias surgem como um instrumento com potencial de otimizar o processo. O presente artigo apresenta uma abordagem que envolve várias tecnologias e combina softwares de apoio a simulação de multidões, modelos BIM dos edifícios, e ferramentas de realidade virtual, que permitem agilizar as simulações de simulacro. Esta abordagem foi aplicada ao edifício de engenharia civil do Instituto Superior Técnico e testada por diversos utilizadores.

## 1. Introdução

Os Planos de Segurança (PS) e os Simulacros, para além da ambição de salvarem vidas e proporcionarem formação específica sobre os planos de emergência, procuram também preservar o edifício principal e os ativos no seu interior. Têm ainda como objetivo proteger os edifícios vizinhos e os seus utilizadores, bem como os peões na via pública. Por último, tentam proteger o ambiente e o património cultural e histórico. Em edifícios como Universidades ou escolas, por exemplo, os exercícios de incêndio são obrigatórios pelo menos uma vez por ano (Tabela 1). Com estes exercícios, as autoridades procuram: i) formar tanto os utentes do edifício como o pessoal profissional; ii) avaliar o procedimento e detetar imperfeições que possam colocar a vida das pessoas em risco – detetar pontos críticos no edifício; iii) exercer a interação entre o pessoal e as autoridades de emergência; iv) garantir o cumprimento da lei.

Tabela 1: Periodicidade mínima da Realização de Simulacros consoante as várias utilizações (caso do Pavilhão de Civil do Instituto Superior Técnico) [1]

<i>Utilização-Tipo</i>	<i>Categoria de Risco</i>	<i>Periodicidade dos Simulacros</i>
<i>II – “Estacionamento”</i>	2 <sup>a</sup>	2/ano
<i>III – “Administrativos”</i>	2 <sup>a</sup>	1/ano ou 2/ano
<i>IV – “Escolares”</i>	4 <sup>a</sup>	1/ano
<i>VI – “Espetáculos e Reuniões Públicas”</i>	2 <sup>a</sup>	1/ano ou 2/ano

No entanto, é frequente haver discordância entre o que o PS prevê e o que realmente acontece numa situação de emergência. Isso pode dever-se a vários fatores, como as imperfeições construtivas (relativamente ao projeto), cálculos errados ou insuficientes quanto ao dimensionamento (p.e.: no dimensionamento de saídas de emergência face o número de utilizadores, dimensão da caixa de escadas, etc.), pressupostos errados ou inadequados quanto ao comportamento humano em situações de emergência, entre outros. O facto da maioria dos utilizadores desconhecerem o PS, não conhecerem a localização das plantas de emergência, ou mesmo a falta de rigor por parte dos utilizadores do edifício durante os simulacros, pode também contribuir para que reais situações de emergência tenham um impacto significativo em termos de destruição de bens materiais ou até mesmo representar a perda de vidas humanas.

As fragilidades dos simulacros de incêndio no que toca à preparação dos utilizadores para situações de emergência são diversas. Refere-se, como exemplo, a falta de rigor das simulações, a dificuldade que as pessoas têm em levá-los a sério e participar plenamente no exercício, ou até mesmo para aprender como devem comportar-se em situações de emergência [2].

Os videojogos, principalmente quando baseados nos serious games, têm sido considerados como uma possível solução para este problema. Aplicados com sucesso em diferentes áreas, como a educação, a saúde, a política e o marketing, são capazes de transformar tarefas aborrecidas em experiências agradáveis [3, 4]. Um jogo pode ser definido como uma “actividade interativa e voluntária, na qual um ou mais jogadores seguem um conjunto de regras que restringem o seu comportamento, encenando um conflito artificial que termina com um resultado quantificável” [5, 6]. Por outro lado, podemos definir um videojogo como “um jogo

executado através de plataformas audiovisuais que nos fornecem um ambiente virtual ou artificial.” [7]. Os Serious Games são então videogames sérios, isto é, "videogames aplicados a diferentes propósitos do que o do entretenimento, como o apoio a atividades de educação, saúde, marketing ou formação". Um Serious Game poderia ser definido como "um concurso mental, jogado com um computador de acordo com regras específicas, que usa entretenimento para promover a formação governamental ou corporativa, educação, saúde, políticas públicas e objetivos estratégicos de comunicação" [7].

O prazer e a realização dos sentimentos experimentados durante o jogo, as situações desafiantes e a curiosidade relacionada com a incerteza das consequências das ações de um jogador durante o jogo, são emoções que ajudam os utilizadores a manterem-se mais focados e motivados nas suas tarefas [4]. De acordo com Freitas [8], existem outros benefícios associados aos Serious Games como: 1) maior motivação dos participantes, 2) maior taxa de sucesso, relacionada com o espírito de competição e a diversão gerada, 3) a capacidade de despertar novos interessados, 4) criação de atividades de grupo, obrigando a colaboração entre jogadores, 5) aquisição de experiência através do método “aprender pelo fazer”, e 6) tempos de aprendizagem mais rápidos e eficientes.

## 2. Aplicação de Novas Tecnologias à Segurança Contra Incêndios em Edifícios

Face às dificuldades em executar simulacros com resultados expressivos, que validem e comprovem a eficácia e eficiência dos planos de segurança, as novas tecnologias surgem como um instrumento com potencial de otimizar o processo. O presente artigo apresenta uma abordagem que envolve várias tecnologias e combina softwares de apoio à simulação de multidões, modelos BIM dos edifícios, e ferramentas de Realidade Virtual, criando uma envolvente de jogo que melhora a experiência de simulação e aprendizagem. Para uma experiência imersiva, a utilização de Head Mounted Displays (HMD) surge como elemento determinante. Estes são dispositivos de exibição de imagem, usados na cabeça, que possuem um pequeno ecrã ótico em frente de cada olho sobrepondo as duas imagens projetadas e formando uma imagem estereoscópica. Podem apresentar-se na forma de capacete, óculos monóculo ou dispositivo para o telemóvel. Para total capacidade do jogador de controlar todo o ambiente que o rodeia através de movimentos naturais, pode-se aliar a utilização de comandos à utilização dos HMD (Figura 1).

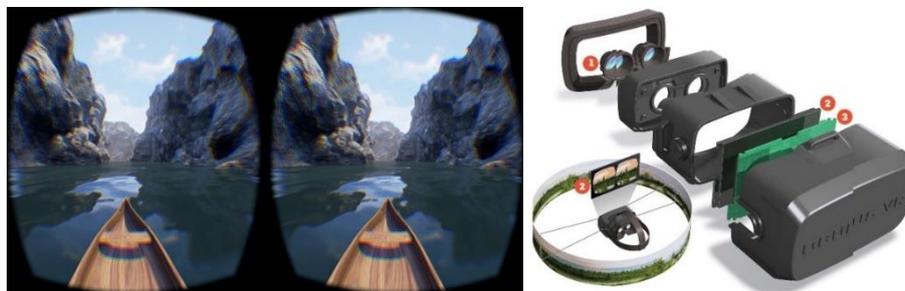


Figura 1: Imagem estereoscópica (à esq.) e Óculos de RV (HMD) desmontados (dir.) [10].

Estes equipamentos permitem ao jogador interagir com o ambiente virtual onde pode fazer movimentos idênticos aos que faria no mundo real. Para a realização do estudo, utilizou-se o

software Revit da Autodesk para a execução do modelo BIM, e o software Unity 3D [10] na construção do simulador. Este foi produzido através de várias aplicações contidas no próprio Unity ou através de linhas de código (c# Sharp) que definem os acontecimentos e as interações possíveis, e utiliza o modelo BIM criado no Revit como meio ambiente, relacionando-o e interagindo com o utilizador da forma pretendida (Figura 2) [11]. O intuito da construção do modelo BIM no Revit, e do jogo de simulação no Unity 3D, é precisamente, possibilitar a simulação de situações de emergência devido a incêndio no edifício do caso de estudo. Construir esta simulação com base em modelos BIM (Figura 2), permite tornar o processo interativo em relação ao ciclo de vida do empreendimento.

Com estas simulações, pretende-se medir o tempo que vários indivíduos de características diferentes (de várias faixas etárias, sexo, estado de saúde, etc.) levam a evacuar de um determinado edifício. Este modelo conceptual, apresentado na Figura 3, foi implementado e testado no caso de estudo do presente trabalho, o que permitiu comparar a abordagem simulada com os resultados obtidos nos simulacros anteriormente efetuados no mesmo edifício em estudo. Com isto pretendeu-se demonstrar a viabilidade destas simulações, utilizando RV, e assim apresentar uma outra solução para a execução e avaliação de planos de segurança (que não apenas os simulacros), que têm a vantagem de poderem ser realizados previamente a qualquer construção.



Figura 2: Civil Engineering, Architecture and Geo-resources Department's Building. Real vs. VR models.

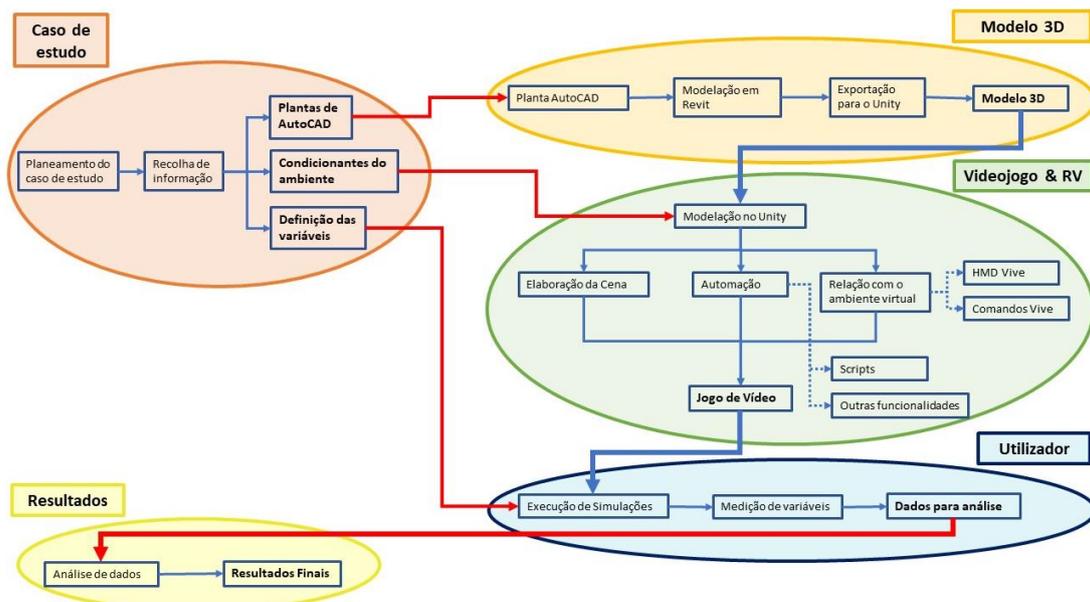


Figura 3: Modelo conceptual de aplicação de novas tecnologias à SCIE.

### 3. Caso de Estudo

#### 3.1. Caracterização do Caso de Estudo

Recorrendo a um modelo BIM e desenvolvendo a simulações utilizando como base o Unity 3D, foi possível simular situações de emergência provocadas por um incêndio. Estas simulações permitiram medir o tempo que vários indivíduos com diferentes características (diferentes faixas etárias, género, nível de maturidade tecnológica, etc.) demoraram a evacuar um determinado edifício.

Na Figura 4 apresenta-se o modelo tridimensional do edifício onde decorreu o estudo bem como o ponto inicial da simulação e o ponto de chegada da simulação. O ambiente de estudo foi testado por diversos “jogadores” que, antes de iniciar a simulação, tiveram a oportunidade de aprender a manusear os instrumentos tecnológicos envolvidos. Como alguns utilizadores não conheciam o edifício, foi-lhes mostrado o caminho desde a porta do pavilhão até à sala onde as simulações têm início.

Cada situação de teste consiste em 2 simulações, com configurações distintas. A evacuação do edifício inicia-se sempre do mesmo ponto, mas na Simulação II existe uma saída de emergência adicional, além da existente na Simulação I. Para além da nova saída de emergência, alterou-se também a quantidade de sinalização de emergência bem como na sua distribuição.

Estão ilustradas as duas situações na Figura 4, onde é possível visualizar as 2 saídas de emergência, bem como o ponto de partida do jogador nas duas situações. O ponto inicial das simulações foi escolhido por se encontrar numa zona que deixa dúvidas em relação ao percurso que se deve fazer e por se encontrar na zona do edifício onde as pessoas demorariam mais tempo a evacuar o edifício real – encontrado através de testes e cronometrações reais.

A existência de duas simulações distintas permite ajudar a avaliar diferentes opções de rotas de emergência, testar diferentes configurações do plano de segurança e ter em conta a melhoria do desempenho dos utilizadores ao longo de uma simulação.

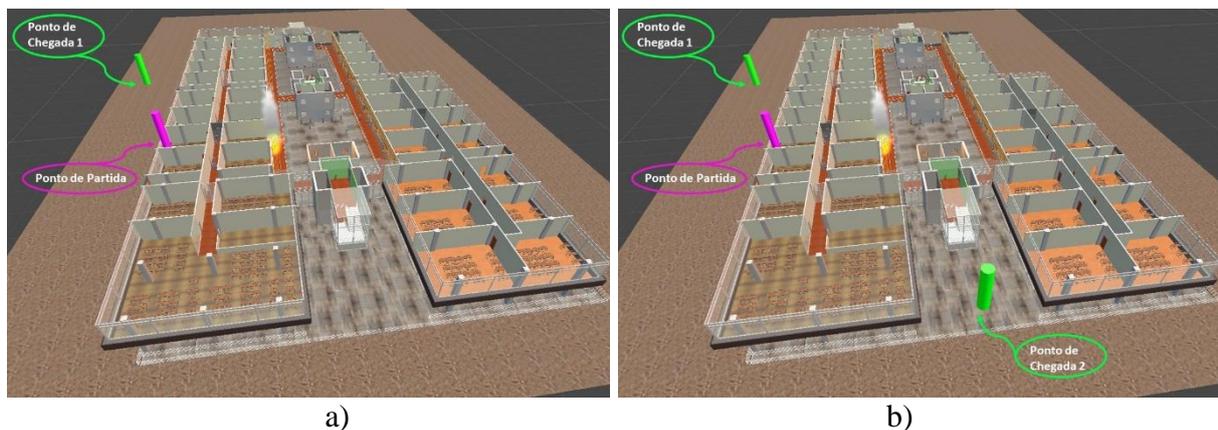


Figura 4: Edifício e respetivos pontos de partida e chegada nas: a) Simulação I; b) Simulação II.

O jogador inicia a simulação numa sala pré-definida e, quando começa a simulação, há uma ignição de incêndio num outro local do edifício, que dispara o alarme de emergência. A partir desse momento o relógio começa a contabilizar o tempo de resposta do utilizador e o jogador tem que iniciar a evacuação (Figura 5). Foram colocados os vários sinais de saída de emergência

e outra sinalética existente, tal e qual como na realidade, para tornar a experiência o mais próximo possível do real.

Todos os outros agentes simulados, controlados pelo software e representativos da restante população que se encontra dentro do pavilhão, também têm como objetivo a evacuação do mesmo, cada um na sua própria trajetória, simulando o comportamento humano e criando alguma entropia e desordem típicas destas situações.



Figura 5: Jogador a efetuar a simulação.

A calibração do modelo foi uma questão fundamental para garantir a fiabilidade dos resultados. Para o efeito, o modelo real foi comparado ao virtual, e ao tempo de evacuação nos dois mundos distintos. Utilizando o mesmo método que o Ribeiro et al. [4], a calibração do modelo foi feita com recurso à equação (1), de forma a atingir um valor aproximado para a velocidade do jogador no jogo, e para garantir que os erros eram aceitáveis. O erro associado à diferença entre os resultados nos dois ambientes foi calculado recorrendo à equação abaixo. O desfecho da calibração é apresentado na tabela 2.

$$1 - \frac{\text{Tempo Ambiente Virtual}}{\text{Tempo Ambiente Real}} \quad (1)$$

Tabela 2: Calibração do modelo apresentado

<b>Caminho</b>	<b><math>C_{0,I}</math> Piso 0 + Caminho I</b>	<b><math>C_{0,II}</math> Piso 0 + Caminho II</b>	<b><math>C_{1,I}</math> Piso 1 + Caminho I</b>	<b><math>C_{1,II}</math> Piso 1 + Caminho II</b>
<b>Distância (m)</b>	52	65	93	124
<b>Tempo Ambiente Real (s)</b>	37	44	67	91
<b>Velocidade Real do Indivíduo (m/s)</b>	1,41	1,48	1,39	1,36
<b>Tempo Ambiente Virtual (s)</b>	35	43	62	83
<b>Erro (%)</b>	5,4	2,3	7,5	8,8

### 3.2. Caracterização da Amostra

A amostra total de participantes foi composta por 18 indivíduos. Este valor foi definido de acordo com Forza [14], uma vez que a correlação entre as variáveis da experiência foi definida como de um efeito alargado, isto é, a experiência e as variáveis foram tratadas através de uma perspectiva macroscópica e assim, por conseguinte, uma amostra de 12 ou 17 elementos seria suficiente (para um  $\alpha = 0.05$  e um poder estatístico de 0.6 ou 0.8 respectivamente). Os indivíduos da amostra foram divididos consoante 2 importantes categorias:

- O seu nível de conhecimento do edifício;
- A sua destreza com vídeo jogos.

Conforme Ribeiro *et al.* [4], e Ribeiro *et al.* [15], esta divisão visa equilibrar a amostra e minimizar o impacto que estas variáveis poderiam ter na dispersão dos resultados, e permitirá também retirar algumas conclusões interessantes. Além destas variáveis também se tentou equilibrar outros parâmetros como o sexo e a idade por forma a conseguir-se obter uma vasta gama de experiências diferentes, mas mantendo um equilíbrio entre todos estes parâmetros. É apresentada a distribuição da amostra segundo os vários parâmetros nas tabelas 3 e 4 onde os grupos *I* a *IV* se referem precisamente à divisão dos elementos da amostra com e sem conhecimento do edifício e se são ou não jogadores regulares de videojogos.

Tabelas 3 e 4: Classificação dos elementos que compõem a amostra

Grupo	Destreza com Videojogos	Conhecimento do edifício	Amostra	Idade	
				Jovem (18-30 anos)	Adultos ( $\geq 30$ anos)
<i>I</i>	Não	Não	4		
<i>II</i>	Não	Sim	5		
<i>III</i>	Sim	Não	5	Sexo	
<i>IV</i>	Sim	Sim	4		
		<b>Amostra Total</b>	18	Masculino	6
				Feminino	4
					5
					3

Como se trata de um ambiente imersivo muito ligado ao 'gaming', é natural que indivíduos de gerações anteriores ou mesmo certos elementos de uma determinada geração mais nova, não tenham muito à vontade nem destreza no manuseamento destes equipamentos. Este factor tem um peso elevado no desempenho dos jogadores durante a simulação pois condiciona bastante o seu tempo de resposta, o manuseamento ágil do equipamento, e também a sua naturalidade com o ambiente virtual e imersivo. Assim, não seria adequado não ter em conta estes factores determinantes e comparar de forma igual os seus resultados com os de jogadores que tenham experiência em jogos de vídeo, que estão habituados a controlar comandos de consolas ou joysticks nos computadores etc. Para mitigar esta diferença, foi dado algum tempo a todos os jogadores para se habituarem aos comandos e controlo do seu avatar através de uma cena muito simples.

Ainda sobre a segregação dos jogadores nos parâmetros anteriores, não é só pelo manuseamento do equipamento que os resultados são afectados. O conhecimento do edifício em questão é, obviamente, um parâmetro agilizador do tempo de evacuação, uma vez que, tendo familiaridade com o edifício, a resposta durante a simulação quanto ao caminho mais adequado vai ser quase automática e com pouca hesitação, conseguindo tempos de evacuação mais curtos. Em contrapartida, um jogador para quem o edifício seja completamente desconhecido, tem um comportamento mais próximo do que se esperaria numa situação de emergência, levando mais tempo para o evacuar. Inclusivamente, a restante população do edifício pode representar um factor chave na sua escolha quanto ao caminho a tomar. Assim, para equilibrar melhor os resultados, todos os indivíduos tiveram oportunidade de visualizar e percorrer presencialmente o caminho desde a porta de entrada do pavilhão até à sala onde a simulação tem início, da mesma forma que todos os jogadores tiveram oportunidade de testar os comandos antes de iniciar a simulação. De salientar que se tentou que este percurso informativo não coincidisse com o caminho de emergência mais curto para não condicionar os resultados.

#### 4. Resultados obtidos

Como se pode observar na Figura 6, o número de pessoas que não escolheu o caminho mais curto ainda é considerável, representando 50% da amostra total na Simulação I e 33% na Simulação II. Naturalmente, na Simulação II este valor é menor pois, existindo uma outra saída de emergência a probabilidade de um utilizador conseguir encontrar o caminho mais curto para uma saída de emergência é maior. Acresce ainda o facto de, nesta segunda simulação, existir maior quantidade de sinalização de emergência afixada.



Figura 6: Indivíduos que optaram pelo caminho mais curto em cada simulação.

Na Simulação I 56% dos jogadores optaram por repetir o caminho que fizeram quando entraram no edifício (para irem até à sala de teste). Destes 56%, metade não fez o caminho mais curto, tendo repetido a trajetória de entrada, não querendo arriscar outro caminho que poderia levar mais tempo ou até levar a que se perdessem. Dos 44% que não repetiram o mesmo percurso, metade também não fez o caminho mais curto, o que significa que, ou se perderam, ou arriscaram escolher outro percurso que, apesar de não conhecerem, julgaram ser mais curto ou estaria simplesmente mais perto da sua posição [12].

Na Simulação II apenas 33% dos jogadores não escolheram o caminho mais curto, o que nos permite concluir que a maioria dos utilizadores conseguiu encontrar o caminho ideal. Segundo o gráfico da Figura 7, apenas 28% repetiram o mesmo percurso efetuado na Simulação I. Esta descida abrupta (de 56% na Simulação I para 28% na Simulação II) está relacionada com a existência de mais uma saída de emergência e com o aumento da quantidade de sinalização de emergência, o que levou a que mais jogadores conseguissem optar pelo caminho mais curto em detrimento do caminho que já conheciam.

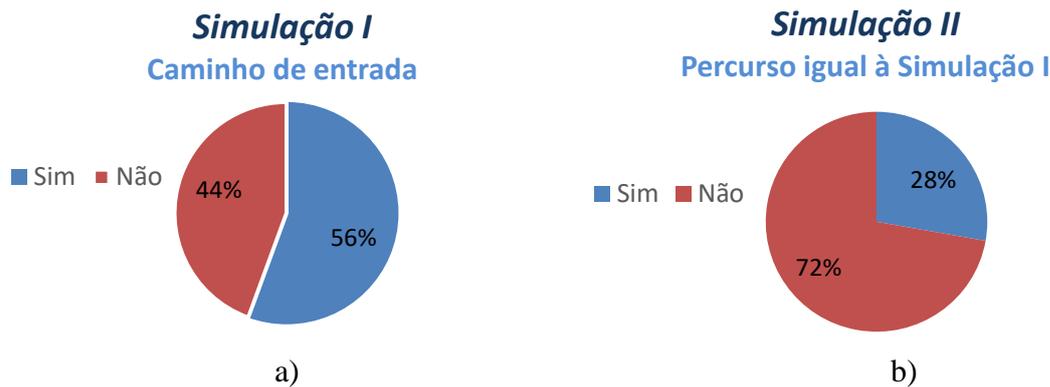


Figura 7: Caminho de evacuação escolhido.

- a) jogadores que optaram pelo caminho igual ao da sua entrada no edifício
- b) jogadores que optaram por um caminho na Simulação II igual ao percorrido na Simulação I

No final das simulações foi pedido a cada jogador que respondesse a um pequeno questionário de forma a avaliar a qualidade da simulação, a sua fiabilidade, utilidade e a satisfação dos utilizadores face a uma experiência em realidade virtual. Apesar da totalidade da amostra referir que já realizou pelo menos um simulacro, a sua opinião quanto à seriedade com que este foi encarado é bastante diferente. Metade dos jogadores refere encarar os simulacros com pouca ou nenhuma seriedade e apenas 11% os considera bastante sérios. Em contrapartida, em relação à seriedade do exercício de simulação de realidade virtual com base no BIM, 56% dos inquiridos consideraram ter encarado este exercício com um pouco ou bastante mais seriedade do que um simulacro.

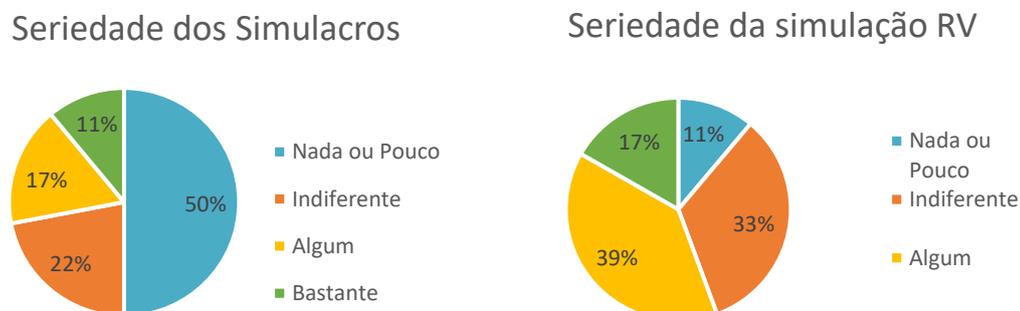


Figura 8: Seriedade dos Simulacros e da simulação de RV.

A maior seriedade dos simulacros virtuais está muito relacionada com o facto de estes serem encarados como um jogo de vídeo, o que suscita nos jogadores um sentimento de competição e superação, e leva a que os jogadores se esforcem mais do que num simulacro tradicional [13]. À pergunta sobre o realismo das Simulações, 6% dos inquiridos respondeu que considera esta abordagem ser pouco ou nada realista, enquanto 78% considerou ser realista ou bastante realista, o que sustenta que a simulação virtual é encarada com bastante mais seriedade [13]. Apesar destes resultados, quando se indagou sobre a necessidade de existência de simulacros caso a simulação de RV fosse usada, 72% dos utilizadores demonstraram-se veemente a favor da continuidade e da necessidade da existência de simulacros, mesmo sendo efetuada a simulação de RV. De salientar que nenhum jogador considera desnecessária a existência dos simulacros e que apenas 22% julga ser pouco necessária.

Averiguou-se ainda a opinião dos utilizadores quanto à utilidade da simulação com base no BIM, dos quais 89% dos jogadores consideraram ser bastante útil e 11% a considerarem útil, ou seja, todos os utilizadores veem a abordagem simulada apresentada como útil. Foi possível concluir que após esta experiência de simulação em RV, a maioria dos “jogadores” sente-se melhor preparada para encarar situações de emergência reais.

## 5. Considerações finais

Pode-se concluir que além da utilidade da plataforma para avaliar e executar planos de emergência em edifícios por construir ou em construção, esta também pode ser utilizada como um meio de formação e aprendizagem sobre o tema, seja para profissionais ou estudantes da área, seja para os utilizadores que realizaram as simulações e que após um pequeno briefing, sentem-se mais confiantes e preparados para situações reais.

## Referências

- [1] Núcleo de Segurança Higiene e Saúde, ""Relatório de simulacro - dezembro de 2018", Instituto Superior Técnico 2018.
- [2] C. Maluk, M. Woodrow and J. L. Torero, "The potential of integrating fire safety in modern building design", *Fire Safety Journal* 88 (2017), 104-112.
- [3] M. Griffiths, "The educational benefits of videogames", *Education and Health* 20 (2002), 47-51.
- [4] J. Ribeiro, J. E. Almeida, R. J. F. Rossetti and A. L. Coelho, "Using serious games to train evacuation behaviour", 7th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI) 2012.
- [5] E. Zimmerman, ""Narrative, interactivity, play and games: Four naughty concepts in need of discipline", " *First person: New media as story, performance, and game*, T. M. Press (Editor) 2004.
- [6] R. T. Hays, ""The effectiveness of instructional games: A literature review and discussion", " *US Naval Air Warfare Center Training Systems Division (Editor)*, US Naval Air Warfare Center Training Systems Division, Orlando, Florida, US, 2005.

- [7] M. Zyda, "From visual simulations to virtual reality to games", *Computer* 38 (2005), no. 9, 25.
- [8] S. I. Freitas, "Using games and simulations for supporting learning", *Learning, Media and Technology* 31 (2006).
- [9] H. Leemkuil, T. de Jong and S. Ootes, ""Review of educational use of games and simulations", Faculty of Behavioural, Management and Social Sciences. University of Twente, Enschede, 2000.
- [10] Unity, ""Unity 3d software", Acedido em Outubro 2018, <https://unity.com/>.
- [11] A. Ren, C. Chen and Y. Luo, "Simulation of emergency evacuation in virtual reality", *Tsinghua Science and Technology* 13 (2008), 651-659.
- [12] C. H. Tang, W. T. Wu and C. Y. Lin, "Using virtual reality to determine how emergency signs facilitate way-finding", *Applied Ergonomics* 40 (2009), 722-730.
- [13] L. Gamberini, P. Cottone, A. Spagnolli, D. Varotto and G. Mantovani, "Responding to a fire emergency in a virtual environment: Different patterns of action for different situations", *Ergonomics* 46 (2003), 842-858.
- [14] C. Forza, Survey research in operations management: A process-based perspective, *International Journal of Operations & Production Management* 22 (2002), no. 2, 152-194.
- [15] J. Ribeiro, Jm. E. Almeida, R. J. F. Rossetti and A. L. Coelho, "Towards a serious games evacuation simulator," *ECMS'2012 - 26th European Conference on Modelling and Simulation*, Koblenz, Germany, 2013.