



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**Victor Biagiotti Saint Martin**

***Hospital Escape VR: Desenvolvimento de um  
Jogo Sério para Treinamento de Evacuação  
Hospitalar Diante de um Incêndio***

Uberlândia  
2022

**Victor Biagiotti Saint Martin**

***Hospital Escape VR: Desenvolvimento de um  
Jogo Sérioo para Treinamento de Evacuação  
Hospitalar Diante de um Incêndio***

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Processamento da Informação  
Linha de Pesquisa: Computação Gráfica

Orientador: Prof. Alexandre Cardoso, Dr.

Coorientador: Prof. Alexandre Gomes de Siqueira, Ph.D.

Uberlândia  
2022

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU  
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

M379 2022	<p>Martin, Victor Biagiotti Saint, 1995- Hospital Escape VR: Desenvolvimento de um Jogo Sério para Treinamento de Evacuação Hospitalar Diante de um Incêndio [recurso eletrônico] / Victor Biagiotti Saint Martin. - 2022.</p> <p>Orientador: Alexandre Cardoso. Coorientador: Alexandre Gomes de Siqueira. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Engenharia Elétrica. Modo de acesso: Internet. Disponível em: <a href="http://doi.org/10.14393/ufu.di.2022.58">http://doi.org/10.14393/ufu.di.2022.58</a> Inclui bibliografia. Inclui ilustrações.</p> <p>1. Engenharia elétrica. I. Cardoso, Alexandre ,1964- (Orient.). II. Siqueira, Alexandre Gomes de,1980- (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Engenharia Elétrica. IV. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 621.3</p>
--------------	---

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091

VICTOR BIAGIOTTI SAINT MARTIN

## **Hospital Escape VR: Desenvolvimento de um Jogo S\u00e9rio para Treinamento de Evacua\u00e7\u00e3o Hospitalar Diante de um Inc\u00eandio**

Disserta\u00e7\u00e3o de Mestrado apresentada \u00e0 Faculdade de Engenharia El\u00e9trica da Universidade Federal de Uberl\u00e2ndia como parte dos requisitos necess\u00e1rios para a obten\u00e7\u00e3o do t\u00edtulo de Mestre em Ci\u00eancias.

### **Orientador:**

Prof. Dr. Alexandre Cardoso  
Universidade Federal de Uberl\u00e2ndia (UFU)

### **Coorientador:**

Prof. Dr. Alexandre Gomes de Siqueira  
University of Florida (UF)

### **Banca Examinadora:**

Prof. Dr. Igor Santos Peretta  
Universidade Federal de Uberl\u00e2ndia (UFU)

Prof. Dr. Alexandre Carvalho Silva  
Instituto Federal Goiano (IFGOIANO)

**Uberl\u00e2ndia, 21 de Janeiro de 2022**





## ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Engenharia Elétrica				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 766, PPGEELT				
Data:	Vinte e um de janeiro de dois mil e vinte e dois	Hora de início:	15:00	Hora de encerramento:	17:30
Matrícula do Discente:	11922EEL015				
Nome do Discente:	Victor Biagiotti Saint Martin				
Título do Trabalho:	Hospital Escape VR: Desenvolvimento de um Jogo Sério para Treinamento de Evacuação Hospitalar Diante de um Incêndio				
Área de concentração:	Processamento da informação				
Linha de pesquisa:	Computação gráfica				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Coordenador do projeto: Alexandre Cardoso e Edgard Lamounier. Título do projeto: Desenvolvimento de metodologia utilizando o conceito Building Information Modeling (BIM) aplicada a projetos de subestações integrado à Sistema de Inteligência Geográfica (SIG) e ao Enterprise Resource Planning (ERP). Agência financiadora: ___ Número do processo na agência financiadora: ___ Vigência do projeto: 2023				

Reuniu-se por meio de videoconferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, assim composta: Professores Doutores: Igor Santos Peretta - FEELT/UFU; Alexandre Carvalho Silva - IFGOIANO; Alexandre Cardoso - FEELT/UFU, orientador(a) do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr(a). Alexandre Cardoso, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado(a).

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Alexandre Cardoso, Professor(a) do Magistério Superior**, em 21/01/2022, às 17:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Igor Santos Pereira, Professor(a) do Magistério Superior**, em 21/01/2022, às 17:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **ALEXANDRE CARVALHO SILVA, Usuário Externo**, em 25/01/2022, às 11:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3313658** e o código CRC **B33A9BE2**.

*Dedico este trabalho à Nilce Cappelari Biagiotti.  
Saudades eternas vó.*

---

# Agradecimentos

Gostaria de agradecer primeiramente à Deus que, em sua graça e misericórdia, permitiu que eu concluísse mais esse sonho em minha vida. Sou extremamente grato, também, aos meus pais Jacques Daniel Saint Martin e Norieide Aparecida Biagiotti Saint Martin, pelo amor, investimento, paciência e confiança. Agradeço, de modo particular, ao meu irmão Leonardo Biagiotti Saint Martin, que mesmo longe sempre me auxiliou e torceu por mim.

Agradeço aos meus amigos de laboratório Victor Barbosa, José Júlio Melazzo, Ígor Moraes, Leonardo Nery e Diogo Martins. Agradeço, de modo particular, ao meu grande amigo Eduardo Gabriel Queiroz Palmeira, que foi uma inspiração e um exemplo durante meu mestrado. Sem seu auxílio eu não teria chegado onde cheguei.

Gostaria de agradecer aos professores Alexandre Cardoso, Edgard Lamounier, Alexandre Siqueira, Alexandre Carvalho e Mauro França pelos ensinamentos, conversas e orientações; a todos do Grupo de Realidade Virtual e Aumentada (GRVA) da UFU, por seus eventuais conselhos; e a todos que, mesmo não estando diretamente citados, tornaram possível a conclusão desse trabalho.

Finalmente, agradeço ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por fornecer o fomento necessário para a realização do meu projeto. Gostaria de agradecer ainda à Eletrobras Furnas pelo suporte fornecido durante o desenvolvimento do projeto de P&D intitulado: Desenvolvimento de metodologia utilizando o conceito *Building Information Modeling* (BIM) aplicada a projetos de subestações integrado à Sistema de Inteligência Geográfica (SIG) e ao *Enterprise Resource Planning* (ERP).

*“Mesmo quando tudo parece desabar, cabe a mim decidir entre rir ou chorar, ir ou ficar, desistir ou lutar; porque descobri, no caminho incerto da vida, que o mais importante é o decidir.”*  
*(Cora Coralina)*

---

## Resumo

SAINT MARTIN, Victor. Hospital Escape VR: Desenvolvimento de um Jogo Sérió para Treinamento de Evacuação Hospitalar Diante de um Incêndio. Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica – UFU, 2022.

Situações de ameaça iminente podem ocorrer em qualquer local, inclusive nos hospitais. Só no ano de 2020 foram registradas 51 ocorrências de incêndios hospitalares no Brasil, aproximadamente um caso de incêndio por semana. Diante desse cenário, torna-se fundamental garantir que os profissionais da saúde estejam preparados para lidar com esse tipo de ocorrência. Assim, o treinamento prático de evacuação emerge como uma atividade primordial para proteger os Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EAS) e seus ocupantes. No entanto, o treinamento de evacuação tradicional apresenta limitações: (1) não é recomendável reproduzir situações ameaçadoras ou perigosas; (2) interfere na rotina hospitalar; (3) são realizados poucas vezes ao longo do ano; (4) não envolvem todos profissionais permanentes; (5) não é recomendável adicionar elementos que poderiam elevar o realismo da simulação, como fogo e fumaça; e (6) prejudica a retenção do conhecimento e engajamento dos usuários. Nesse contexto, a RV emerge como uma alternativa complementar ao treinamento de evacuação tradicional. Este trabalho apresenta a pesquisa em andamento do projeto e desenvolvimento de um protótipo de simulador de treinamento de evacuação hospitalar diante de um incêndio utilizando o método da *Design Science Research* (DSR). Testes preliminares sugerem que esse artefato apresenta potencial para ser utilizado como treinamento complementar aos métodos tradicionais. No entanto, é primordial, em trabalhos futuros, melhorar a jogabilidade e interação do usuário, aprimorar a funcionalidade que retrata a propagação do incêndio, adicionar personagens não controláveis e realizar comparações empíricas.

**Palavras-chave:** Realidade Virtual. Treinamento. Evacuação. Hospital.

---

# Abstract

SAINT MARTIN, Victor. Hospital Escape VR: Development of a Serious Game for Hospital Evacuation Training in the Face of a Fire. Uberlândia, Faculty of Electrical Engineering – UFU, 2022.

Imminent threatening situations can occur anywhere, including hospitals. In 2020, 51 cases of hospital fires were recorded in Brazil, approximately one case of fire per week. Hence, it is essential to ensure that healthcare workers are prepared to deal with this occurrence. To that end, hands-on evacuation training emerges as a critical activity to protect the Health Care Establishment (HCE) and their occupants. However, regular evacuation training has limitations: (1) it is not recommended to reproduce threatening or dangerous situations; (2) affects the typical routine of the establishment; (3) traditional training end up being performed a few times throughout the year; (4) only a small percentage of hospital staff participate; (5) the inclusion of features that can enhance the simulation realism — such as fire and smoke — is not allowed; and (6) knowledge retention and user engagement end up being harmed. In this context, VR emerges as an alternative to traditional evacuation training. Therefore, this work presents the research in progress of the design and development of a hospital evacuation training simulator in the face of a fire situation using the Design Science Research (DSR) method. Preliminary tests suggest that this prototype has the potential to be used as complementary training to traditional methods. However, it is essential, in future work, to improve gameplay and user interaction, improve fire propagation functionality, add *Non-Player Character* (NPC), and perform empirical comparisons.

**Keywords:** Virtual Reality. Training. Evacuation. Hospital.

---

## Publicações

São publicações resultantes deste trabalho:

1. MARTIN, V.; PALMEIRA, E.; GONÇALVES, V.; SANTOS, L.; MELAZZO, J.; LAMOUNIER JR., E.; CARDOSO, A. Virtual reality simulations for hospital fire evacuation: A systematic literature review. In: **2020 22nd Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)**. IEEE, 2020. P. 313–320. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9262672>>.
2. MARTIN, V. S; PALMEIRA, E.; GONÇALVES, V.; SIQUEIRA, A.; LAMOUNIER, E.; CARDOSO, A. Hospital Escape VR: A Virtual Reality Simulation for Hospital Fire Evacuation Training. In: **WRIGHT, J.; BARBER, D.; SCATAGLINI, S.; RAJULU, S. (Eds.). Advances in Simulation and Digital Human Modeling..** Cham: Springer, 2021. p. 151-158. ISBN 978-3-030-79763-8. Disponível em: <[https://doi.org/10.1007/978-3-030-79763-8\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-030-79763-8_18)>.



---

## Lista de ilustrações

Figura 1 – Roteiro de tecnologia emergente para grandes empresas. . . . .	17
Figura 2 – Síntese dos conceitos e fundamentos da <i>Design Science Research</i> . . . . .	21
Figura 3 – Método fundamentado na DSR desenvolvido por Peffers et al. (2007). . . . .	22
Figura 4 – Atividades nominais e iterativas do método de Peffers et al. (2007). . . . .	23
Figura 5 – Quantidade de EAS para cada 10 milhões de habitantes. . . . .	25
Figura 6 – Principais mecanismos de transporte. . . . .	31
Figura 7 – Principais Sinalizações de Emergência. . . . .	34
Figura 8 – Associação de Distintas Sinalizações de Emergência. . . . .	35
Figura 9 – Exemplo de compartimentação horizontal (A) e vertical (B). . . . .	36
Figura 10 – Contínuo Real-Virtual proposto por Milgram et al. (1994). . . . .	39
Figura 11 – Relação entre jogos sérios e pedagogia. . . . .	43
Figura 12 – Critérios para que o treinamento seja baseado em jogo sério. . . . .	44
Figura 13 – Etapas da revisão sistemática. . . . .	48
Figura 14 – Objetos virtuais presentes no cenário hospitalar. . . . .	61
Figura 15 – Sinalização de emergência desenvolvida para o jogo sério. . . . .	62
Figura 16 – Iluminação de emergência desenvolvida para o jogo sério. . . . .	63
Figura 17 – Alarme de emergência. . . . .	64
Figura 18 – Representação do <i>Grid-Box</i> no Ambiente Virtual (AV). . . . .	66
Figura 19 – Utilização do <i>Grid-Box</i> para propagar o incêndio através das partes inflamáveis da maca hospitalar. . . . .	67
Figura 20 – Ordem de propagação do incêndio para um caso aleatório. . . . .	68
Figura 21 – Objeto virtual em distintas posições sem movimentar o <i>Grid-Box</i> . . . . .	70
Figura 22 – Identificação de objetos pelo <i>Grid-Box</i> . . . . .	71
Figura 23 – Área de propagação da fumaça e posicionamento do <i>Grid-Box</i> . . . . .	73
Figura 24 – Esfera do <i>Grid-Box</i> mais próxima e mais distante da maca hospitalar. . . . .	75
Figura 25 – Quarto hospitalar. . . . .	78
Figura 26 – Sala de atendimento médico. . . . .	78

Figura 27 – Sala de espera interna. . . . .	79
Figura 28 – Sala de Unidade de Terapia Intensiva (UTI). . . . .	79
Figura 29 – Sala de reunião. . . . .	80
Figura 30 – Recepção hospitalar. . . . .	80
Figura 31 – Corredor principal: conecta a recepção, sala de reunião e UTI. . . . .	81
Figura 32 – Corredores intermediários: conectam a UTI, salas de atendimento e sala de espera interna. . . . .	82
Figura 33 – Corredor dos quartos hospitalares: conecta a sala de espera e todos os quartos hospitalares. . . . .	83
Figura 34 – Vista superior do ambiente hospitalar. . . . .	85
Figura 35 – Propagação do incêndio. . . . .	87
Figura 36 – Propagação da fumaça. . . . .	88
Figura 37 – Modelo do teste funcional ou estrutural. . . . .	91
Figura 38 – Entrada de dados através do teclado. . . . .	93
Figura 39 – Entrada de dados através dos controles do <i>Oculus Rift S</i> . . . . .	94

---

## Lista de tabelas

Tabela 1 – Quantidade de Incêndios Hospitalares e Institucionais no Brasil entre 2012 e 2020. . . . .	26
Tabela 2 – Quantidade de incêndios em EAS nos EUA entre 2003 e 2015. . . . .	26
Tabela 3 – Tempo de pré-movimentação e velocidade de transporte dos principais mecanismos de transporte. . . . .	30
Tabela 4 – Tempo total (h) para evacuar a ala hospitalar utilizando os principais mecanismos de transporte. . . . .	31
Tabela 5 – Termo de busca utilizado na pesquisa avançada. . . . .	49
Tabela 6 – Critérios de inclusão e exclusão. . . . .	50
Tabela 7 – Comparação entre os trabalhos relacionados. . . . .	56
Tabela 8 – Botões disponíveis no menu inicial. . . . .	92
Tabela 9 – <i>Inputs</i> disponíveis na simulação semi imersiva. . . . .	93
Tabela 10 – <i>Inputs</i> disponíveis na simulação imersiva. . . . .	95
Tabela 11 – Eventos comuns tanto na simulação semi imersiva quanto na imersiva. . . . .	96
Tabela 12 – Eventos exclusivos do modo semi imersivo. . . . .	97
Tabela 13 – Evento exclusivo do modo imersivo. . . . .	97

---

## Lista de siglas

**AV** Ambiente Virtual

**BS** *Backward Snowballing*

**BIM** *Building Information Modeling*

**CAVE** *Cave Automatic Virtual Environment*

**CAD** *Computer-Aided Design*

**DSR** *Design Science Research*

**EAS** Estabelecimentos Assistenciais de Saúde

**EUA** Estados Unidos da América

**FS** *Forward Snowballing*

**GIMP** *GNU Image Manipulation Program*

**HMD** *Head-Mounted Display*

**NPC** *Non-Player Character*

**OMS** Organização Mundial da Saúde

**QP** Questões de Pesquisa

**RA** Realidade Aumentada

**RS** Revisão Sistemática

**RV** Realidade Virtual

**SUS** *System Usability Scale*

**UE4** *Unreal Engine 4*

**UTI** Unidade de Terapia Intensiva

**VA** Virtualidade Aumentada

---

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>16</b>
1.1	Contextualização	16
1.2	Motivação	18
1.3	Objetivos	19
1.3.1	Objetivo Geral	19
1.3.2	Objetivo Específico	19
1.4	Método da Pesquisa	20
1.5	Contribuições	20
1.6	Organização da Dissertação	21
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>24</b>
2.1	Introdução	24
2.2	Estabelecimentos Assistenciais de Saúde	24
2.3	Situações Adversas em EAS	25
2.4	Complexidade do Ambiente Hospitalar	27
2.5	Evacuação de Pacientes Hospitalares	29
2.6	Segurança Hospitalar	32
2.6.1	Medidas de Proteção Passiva	32
2.6.2	Medidas de Proteção Ativa	36
2.7	Treinamento Prático de Evacuação	37
2.8	Realidade Virtual	38
2.9	Jogos Sérios	42
2.10	Aplicações na Área da Saúde	44
2.11	Considerações Finais	45
<b>3</b>	<b>REVISÃO SISTEMÁTICA</b>	<b>46</b>
3.1	Introdução	46

<b>3.2</b>	<b>Metodologia</b> . . . . .	<b>46</b>
<b>3.3</b>	<b>Etapas da Revisão Sistemática</b> . . . . .	<b>47</b>
3.3.1	Identificação . . . . .	49
3.3.2	Seleção Inicial . . . . .	49
3.3.3	Elegibilidade . . . . .	49
3.3.4	Inclusão . . . . .	50
<b>3.4</b>	<b>Resultados</b> . . . . .	<b>50</b>
3.4.1	QP1 - Em quais contextos os simuladores de evacuação hospitalar RV se tornam mais vantajosos do que as simulações práticas tradicionais? . . . . .	51
3.4.2	QP2 - Quais dispositivos geralmente são utilizados em simuladores RV para evacuação hospitalar? . . . . .	52
3.4.3	QP3 - Quais funcionalidades o simulador RV deve possuir para elevar a retenção de conhecimento do usuário? . . . . .	53
<b>3.5</b>	<b>Trabalhos Correlatos</b> . . . . .	<b>53</b>
<b>3.6</b>	<b>Considerações Finais</b> . . . . .	<b>56</b>
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DA APLICAÇÃO</b> . . . . .	<b>58</b>
<b>4.1</b>	<b>Softwares e Hardwares</b> . . . . .	<b>58</b>
<b>4.2</b>	<b>Principais Componentes do Jogo Sério</b> . . . . .	<b>60</b>
4.2.1	Objetos Hospitalares Virtuais . . . . .	60
4.2.2	Sistema de Emergência . . . . .	61
4.2.3	Propagação do Incêndio . . . . .	65
4.2.4	Propagação da Fumaça . . . . .	72
<b>4.3</b>	<b>Considerações Finais</b> . . . . .	<b>76</b>
<b>5</b>	<b>DEMONSTRAÇÃO DA APLICAÇÃO</b> . . . . .	<b>77</b>
<b>5.1</b>	<b>Apresentação do Ambiente Virtual</b> . . . . .	<b>77</b>
<b>5.2</b>	<b>Apresentação do Treinamento</b> . . . . .	<b>84</b>
<b>5.3</b>	<b>Considerações Finais</b> . . . . .	<b>89</b>
<b>6</b>	<b>AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO</b> . . . . .	<b>90</b>
<b>6.1</b>	<b>Teste Caixa Preta</b> . . . . .	<b>90</b>
<b>6.2</b>	<b>Considerações Finais</b> . . . . .	<b>97</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b> . . . . .	<b>98</b>
<b>7.1</b>	<b>Principais contribuições</b> . . . . .	<b>98</b>
<b>7.2</b>	<b>Principais Limitações</b> . . . . .	<b>99</b>
<b>7.3</b>	<b>Trabalhos Futuros</b> . . . . .	<b>100</b>
<b>7.4</b>	<b>Considerações Finais</b> . . . . .	<b>102</b>

**REFERÊNCIAS . . . . . 104**



---

# Introdução

## 1.1 Contextualização

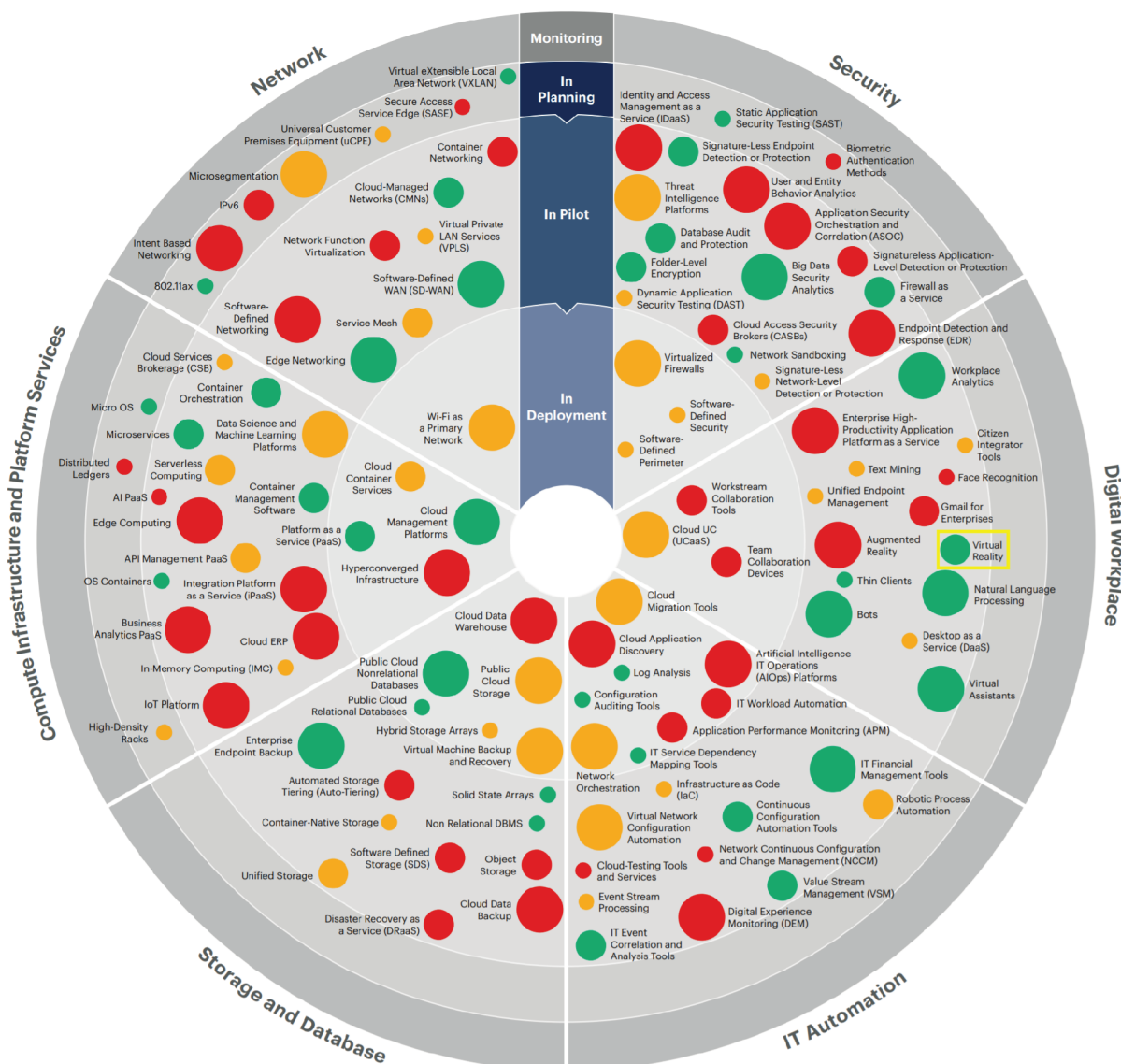
Devido ao avanço da tecnologia nas últimas décadas, a Realidade Virtual (RV) se tornou uma das interfaces modernas mais relevantes. De acordo com o Roteiro de Tecnologia Emergente para Grandes Empresas <sup>1</sup> (GARTNER, 2020), a RV se encontra próxima à transição entre as fases piloto e planejamento. A RV está deixando de ser uma tecnologia em análise e está se tornando um caso de sucesso presente nas grandes empresas. Além disso, como pode ser visto na Figura 1, essa tecnologia possui baixo risco de implementação (representado pelo círculo verde). Atualmente, tal tecnologia permite que uma interface artificial e poderosa seja criada entre o homem e a máquina, permitindo a interação, navegação e imersão do usuário no ambiente tridimensional (CARDOSO; LAMOUNIER, 2006). Desta forma, situações demasiadamente complexas ou perigosas podem ser criadas e experienciadas em tempo real. Justamente por isso, é recorrente a utilização da RV no que tange os treinamentos, a educação, o entretenimento e a saúde (TORI; HOUNSELL; KIRNER, 2018).

É comum associar esta tecnologia ao conceito dos jogos sérios, ou seja, aplicações que não possuem o entretenimento, prazer e diversão como principal objetivo (MICHAEL; CHEN, 2006). Nestes casos, a RV é utilizada para realizar treinamentos em diversos setores da sociedade, inclusive na área da saúde e em seus subcampos. Atualmente, a RV já é utilizada para simular cirurgia de laparoscopia (VINCE, 2004), catarata (THOMSEN et al., 2017) e inserção de pinos na coluna (XIN et al., 2019). Independentemente da complexidade de cada aplicação, a utilização da RV nesses contextos é extremamente pertinente. Em primeiro lugar, o usuário pode realizar o treinamento sem colocar em risco a sua própria vida ou a vida do paciente. Em segundo lugar, o treinamento pode ser realizado até que o usuário adquira conhecimento e segurança suficiente para reproduzir na prática o que foi treinado.

---

<sup>1</sup> *Emerging Technology Roadmap for Large Enterprises*

Figura 1 – Roteiro de tecnologia emergente para grandes empresas.



Fonte: Gartner (2020)

Além das aplicações mencionadas anteriormente, o treinamento de evacuação hospitalar é outro exemplo da utilização da RV na área da saúde. Através deste treinamento virtual é possível aprimorar aspectos negativos do treinamento de evacuação tradicional: (1) a longo prazo, o treinamento virtual acaba sendo mais econômico que o treinamento tradicional (FARRA et al., 2019b); (2) a RV permite desenvolver diferentes cenários que podem reproduzir distintos treinamentos, permitindo que diversos profissionais utilizem a aplicação (RAHOUTI et al., 2017); (3) através do treinamento RV é possível introduzir elementos virtuais (fogo e fumaça) que não são permitidos em treinamento reais (RAHOUTI et al., 2017; LIU et al., 2018; LU et al., 2020); (4) a realização do treinamento tradicional interfere diretamente na rotina hospitalar, en-

quanto o treinamento virtual pode ser realizado de forma assíncrona (FARRA et al., 2019b; RAHOUTI et al., 2017; FARRA et al., 2019a; SILVA et al., 2013); (5) o treinamento virtual acaba sendo realizado mais vezes ao longo do ano, justamente por ser mais barato e não interferir na rotina hospitalar (FARRA et al., 2019a); (6) durante o treinamento virtual é possível armazenar, em tempo real, informações pertinentes do treinamento do usuário (FARRA et al., 2019a; FENG et al., 2020; FENG et al., 2020; LOVREGLIO et al., 2018; SILVA et al., 2013).

## 1.2 Motivação

De acordo com dados divulgados pelo Instituto Sprinkler Brasil (2020), entre os anos 2017 e 2020 foram registrado no Brasil, respectivamente, 12, 6, 30 e 51 casos de incêndio hospitalar. Só no ano de 2020, foi registrado em média um incêndio a cada semana. Comparando os dados nacionais com os dados internacionais é possível verificar que, provavelmente, a quantidade real de incêndios hospitalares é muito maior do que a divulgada. De acordo com Campbell (2017), entre os anos de 2011 e 2015 foram registrados, em média, 226 ocorrências anuais de incêndio em hospitais e hospícios só nos Estados Unidos da América (EUA).

Diante deste cenário, a realização de treinamentos periódicos que abordem a temática da evacuação hospitalar diante de um incêndio emerge como uma ação fundamental. Através desta atividade é possível transmitir conhecimento para que os profissionais da saúde saibam as ações corretas a serem executadas diante desse desastre. Todavia, a saúde do profissional que está realizando o treinamento e a saúde dos demais pacientes desse ambiente não podem ser colocadas em risco. Justamente por isso, não é aconselhado introduzir elementos que poderiam elevar o realismo da simulação, como fogo e fumaça. Em contrapartida, através da aplicação virtual é possível introduzir tais elementos, elevando o realismo da aplicação e fazendo com que o usuário se sinta engajado durante o treinamento (RAHOUTI et al., 2017). Além disso, estudos recentes comprovam a eficiência da RV em comparação com a forma tradicional de treinamento. Alunos que realizaram o treinamento utilizando aplicações em RV (cirurgias virtuais) obtiveram melhores resultados que os alunos que utilizaram apenas as formas tradicionais de treinamento (THOMSEN et al., 2017; XIN et al., 2019).

Embora a utilização da RV em treinamentos seja uma realidade contemporânea, as aplicações virtuais que abordam o treinamento de evacuação hospitalar diante de um incêndio carecem em alguns aspectos. Para que uma aplicação virtual seja utilizada como treinamento de evacuação diante de um incêndio, é fundamental a existência de fogo, fumaça e um sistema de emergência suficientemente realistas<sup>2</sup>. Qualquer aplicação que não aborde tais características, simultaneamente, ficará deficitária no

<sup>2</sup> Embora o termo seja subjetivo, é possível mensurá-lo através de questionários

quesito realismo. De todas os trabalhos identificados antes do desenvolvimento do protótipo desta pesquisa, apenas um abordou a propagação da fumaça e, nenhum abordou, simultaneamente, a propagação da fumaça, do incêndio e a implementação de um sistema de emergência.

## 1.3 Objetivos

Os objetivos deste trabalho estão diretamente alinhados com os conceitos da DSR (seção 1.4), ou seja, desenvolver um artefato que irá minimizar os impactos de um problema específico. Assim sendo, os principais tópicos apresentados na motivação deste trabalho (seção 1.2) foram fundamentais para propor uma nova solução para o treinamento de evacuação hospitalar diante de um incêndio, focando principalmente no desenvolvimento de funcionalidades virtuais que representarão fenômenos naturais suficientemente realistas e, conseqüentemente, poderão elevar o realismo e engajamento da aplicação.

### 1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho consiste no desenvolvimento de uma aplicação — imersiva ou semi imersiva — na qual são associados os conceitos de RV e jogos sérios. Como resultado dessa associação, espera-se obter um artefato protótipo que será utilizado como forma de estudo complementar durante o treinamento de evacuação hospitalar.

### 1.3.2 Objetivo Específico

Dentre os objetivos específicos deste trabalho, destacam-se:

1. Desenvolver o protótipo de um simulador de treinamento de evacuação hospitalar diante de um incêndio;
2. Desenvolver uma funcionalidade virtual que irá simular, de forma suficientemente realista, a propagação do incêndio através do objeto e, ao mesmo tempo, irá provocar um dano visível no objeto;
3. Desenvolver uma funcionalidade virtual que irá simular, de forma suficientemente realista, a propagação da fumaça pelo AV;
4. Desenvolver um conjunto mínimo de funcionalidades que irão simular o sistema de emergência hospitalar, incluindo sinalização, iluminação e alarmes de emergência;

5. Desenvolver uma funcionalidade capaz de calcular a pontuação geral obtida pelo usuário durante o treinamento;
6. Começar o desenvolvimento de uma aplicação virtual baseada em jogos sérios.

## 1.4 Método da Pesquisa

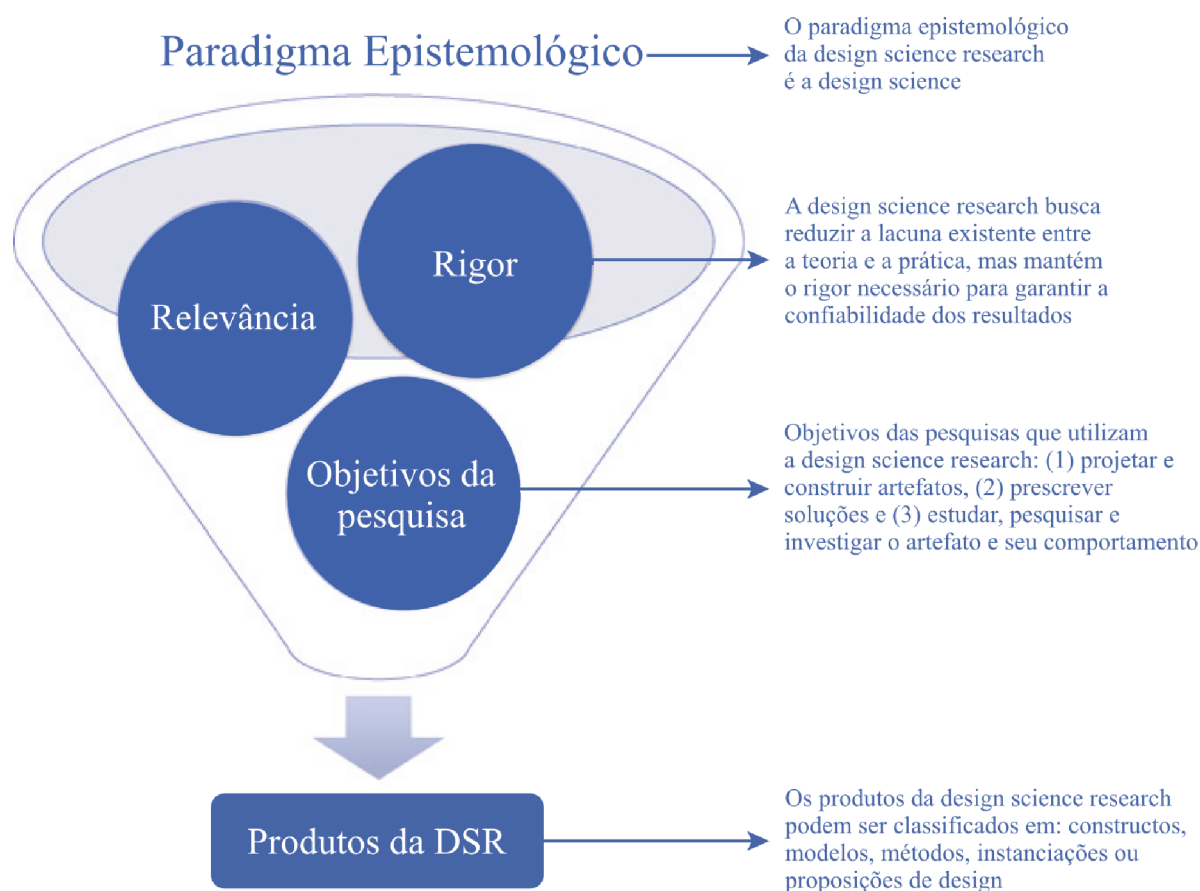
Para o desenvolvimento do artefato apresentado no presente trabalho foi utilizado a DSR como método de pesquisa. De acordo com Dresch, Lacerda e Antunes (2015), a DSR utiliza a *design science* como paradigma epistemológico. A *design science* está diretamente relacionada com às engenharias e ciências aplicadas, é voltada para criação de soluções ou artefatos que irão solucionar um determinado problema (HEVNER et al., 2004). Portanto, quando um cientista se baseia na *design science* para guiar o desenvolvimento de um projeto, um artefato, que solucionará um problema específico, deverá ser criado. No entanto, a *design science* não exige que o cientista prove algo relacionado ao porquê nem descreva como ocorre o funcionamento desse artefato.

Como pode ser observado na Figura 2, projetar e construir um artefato que irá minimizar os impactos de um problema específico — objetivo deste trabalho — é um dos objetivos das pesquisas que utilizam a DSR. De acordo com Dresch, Lacerda e Antunes (2015), a DSR é um método que estabelece e operacionaliza a pesquisa quando o objetivo desejado é o desenvolvimento de um artefato ou recomendação, podendo ser realizada tanto no meio acadêmico quanto organizacional. Já para Çağdaş e Stubkjær (2011), a DSR consiste em um processo rigoroso que pode ser dividido em três etapas: (1) criação do artefato que irá minimizar os impactos do problema abordado, (2) avaliação do artefato projetado e (3) comunicação dos resultados obtidos.

Existem diversos métodos formalizados que possibilitam a condução das pesquisas fundamentadas nos conceitos da *design science*. Para o desenvolvimento do presente projeto foi utilizado, como referência, o processo proposto por Peffers et al. (2007). Este processo consiste em um modelo mental capaz de guiar a condução da pesquisa a partir da DSR. De acordo com Peffers et al. (2007), o processo pode ser dividido em seis etapas: (1) identificação do problema, (2) resultados esperados, (3) projeto e desenvolvimento, (4) demonstração, (5) avaliação e (6) comunicação (Figura 3). A Figura 4 apresenta a relação existente entre: a etapa nominal da DSR, a descrição desta etapa e a associação com o presente projeto.

## 1.5 Contribuições

As soluções resultantes deste trabalho almejam aprimorar o treinamento de evacuação hospitalar diante de um incêndio, utilizando a aplicação desenvolvida como treinamento complementar ao treinamento tradicional realizado atualmente. A pesquisa,

Figura 2 – Síntese dos conceitos e fundamentos da *Design Science Research*.

Fonte: Adaptado de Dresch, Lacerda e Antunes (2015)

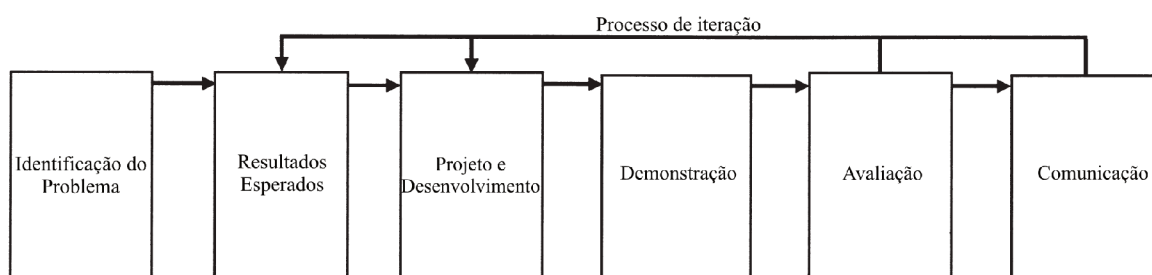
fundamentada na DSR, deve: (1) apresentar aplicabilidade prática, (2) minimizar os impactos de um problema real e (3) contribuir com o conhecimento teórico através da divulgação dos resultados obtidos. Esta característica representa a última etapa do modelo de Peffers et al. (2007) — “Comunicação” — (Figura 3). As contribuições apresentadas neste documento serão relevantes para outros pesquisadores, seja para incentivar a realização de novas pesquisas acerca da evacuação hospitalar diante de um incêndio ou incentivar o aprimoramento do artefato protótipo desenvolvido.

## 1.6 Organização da Dissertação

Esta dissertação está organizada em 7 capítulos. No primeiro capítulo, foi apresentado a contextualização acerca do tema da pesquisa, a motivação e os objetivos. Ademais, além de apresentar o método da pesquisa que guiou o desenvolvimento do presente projeto, foi apresentado, ainda, as principais contribuições deste projeto.

No Capítulo 2 será apresentada a literatura utilizada para fundamentar o projeto

Figura 3 – Método fundamentado na DSR desenvolvido por Peffers et al. (2007).



Fonte: Adaptado de Peffers et al. (2007)

de pesquisa. Os seguintes temas foram abordados: EAS, complexidade do ambiente hospitalar, segurança hospitalar, treinamento prático de evacuação, RV, jogos sérios, entre outros.

No Capítulo 3, o processo da Revisão Sistemática (RS), utilizado para compreender o estado da arte e identificar os trabalhos correlatos, será apresentado. Além disso, serão apresentados os processos da revisão da literatura e a comparação entre os trabalhos correlatos e o presente projeto.

No Capítulo 4 será descrito os principais *softwares* e *hardwares* utilizados durante o desenvolvimento da aplicação, bem como as funcionalidades exclusivas desenvolvidas para o presente projeto (sistema de emergência, propagação do incêndio e fumaça).

No Capítulo 5, o ambiente virtual e o treinamento de evacuação hospitalar serão apresentados. Ademais, serão descrito os principais eventos que podem ocorrer durante a simulação de evacuação hospitalar.

No Capítulo 6 será apresentado os testes de *software* que foram realizados nos principais *inputs*, botões e “eventos” da aplicação, visando garantir o funcionamento correto de todas essas funcionalidades.

Por fim, no Capítulo 7 será sumarizado o trabalho realizado. Ademais, as principais contribuições deste trabalho, as limitações identificadas após a conclusão do artefato piloto e os trabalhos futuros serão apresentados.

Figura 4 – Atividades nominais e iterativas do método de Peffers et al. (2007).

FASE	DSR	DEFINIÇÃO DA DSR	RELAÇÃO COM A PESQUISA
INTRODUÇÃO	Identificação do Problema	Identificação do problema específico e justificativa do valor da solução para esse problema	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Contextualização (Secção 1.1)</li> <li>➤ Motivação (Secção 1.2)</li> <li>➤ Fundamentação Teórica (Capítulo 2)</li> </ul>
	Resultados Esperados	Identificação dos objetivos da solução com base na definição do problema e do conhecimento acerca do que é possível e viável ser realizado	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Objetivos (Secção 1.3)</li> <li>➤ Trabalhos Correlatos (Secção 3.5)</li> </ul>
DESENVOLVIMENTO	Projeto e Desenvolvimento	Projeto e desenvolvimento do artefato que irá solucionar o problema	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Desenvolvimento da Aplicação (Capítulo 4)</li> </ul>
	Demonstração	Demonstração do artefato com foco na solução do problema identificado inicialmente	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Demonstração da Aplicação (Capítulo 5)</li> </ul>
CONCLUSÃO	Avaliação	Observar e avaliar o resultado do artefato no que se refere à solução do problema	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Trabalhos Futuros (Secção 7.3)</li> </ul>
	Comunicação	Apresentação do problema identificado bem como do artefato desenvolvido e resultados obtidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Dissertação do presente projeto</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)



---

## Fundamentação Teórica

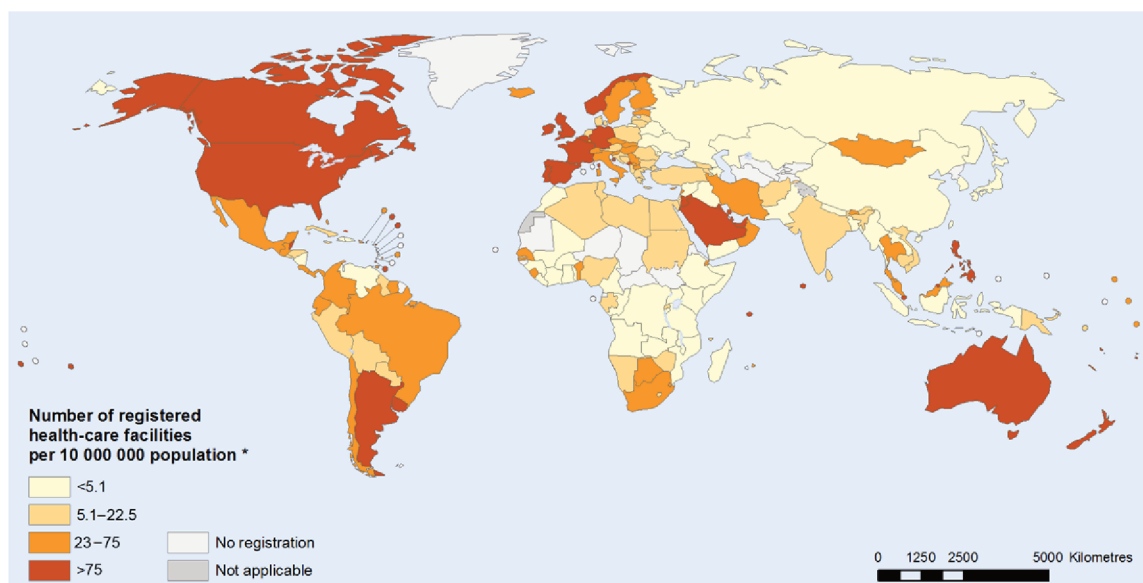
### 2.1 Introdução

Este capítulo almeja fornecer o entendimento de conceitos abordados ao longo da dissertação. Em sua essência, o texto abordará os seguintes tópicos: EAS, situações adversas em EAS, complexidade do ambiente hospitalar, evacuação de pacientes hospitalares, segurança hospitalar e treinamento prático de evacuação. Além disso, também será abordado tópicos pertinentes à RV, aos jogos sérios e às aplicações da RV na área da saúde.

### 2.2 Estabelecimentos Assistenciais de Saúde

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), hospitais, centros de saúde primários, campos de isolamento, unidades de pacientes queimados e centros de alimentação são exemplos de EAS (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2012). No entanto, qualquer ambiente voltado para o atendimento de pacientes pode ser caracterizado como um EAS. Além desses estabelecimentos serem fundamentais para a população, podem ser utilizados para avaliar a qualidade de vida em um determinado país, mediante a quantidade de EAS existentes. Através da Figura 5 é possível verificar que no ano de 2017 havia no Brasil entre 23 e 75 EAS para 10 milhões de brasileiros. Analisando apenas a América do Sul, o Brasil se encontra na terceira posição, atrás apenas da Argentina e do Uruguai.

Figura 5 – Quantidade de EAS para cada 10 milhões de habitantes.



Fonte: Adaptado de World Health Organization (2017)

## 2.3 Situações Adversas em EAS

Embora os EAS sejam voltados para auxiliar e socorrer indivíduos, podem ocorrer situações adversas que comprometam a segurança do estabelecimento e a saúde dos indivíduos. Dentre as principais situações adversas, destacam-se aquelas atreladas às falhas em equipamentos e à falha humana. De acordo com o Instituto Sprinkler Brasil (2020), entre os anos de 2017 e 2020 ocorreram, respectivamente, 12, 6, 30 e 51 casos de incêndios hospitalares no Brasil. Entre os meses de janeiro e outubro de 2020 foram registradas 45 ocorrências de incêndios hospitalares, aproximadamente uma ocorrência a cada seis dias. Comparado com o mesmo período de 2019, foi identificado um aumento de 96% nos incêndios hospitalares (SAMPAIO, 2020). Embora a quantidade de ocorrências seja elevada, acredita-se que esse valor representa apenas 3% do valor real, visto que só são contabilizadas as ocorrências publicadas pela mídia (INSTITUTO SPRINKLER BRASIL, 2020). A Tabela 1 retrata a quantidade de notícias veiculadas pela mídia sobre incêndios hospitalares e institucional no Brasil entre 2012 e 2020. É importante ressaltar que esta tabela foi criada utilizando parte dos dados anuais obtidos através do Instituto Sprinkler Brasil (2020). Além disso, antes de 2017 não havia a distinção entre incêndios hospitalares e institucionais, justamente por isso, os valores apresentados na tabela são superiores aos valores apresentados anteriormente.

Apesar da quantidade de incêndios hospitalares serem significativos, quando comparado com outros países, fica nítido que a quantidade de ocorrências nacionais re-

gistradas é inferior à quantidade real. De acordo com dados publicados por Campbell (2017), entre os anos de 2011 e 2015 foram registrados, aproximadamente, 5750 casos de incêndios em EAS nos EUA. Destes casos, em torno de 1130 ocorrências foram registradas só em hospitais e hospícios, acarretando, em média, 32 indivíduos feridos anualmente. Infelizmente, a elevada quantidade de incêndios não é exclusividade do período analisado, assim como pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 1 – Quantidade de Incêndios Hospitalares e Institucionais no Brasil entre 2012 e 2020.

<b>Incêndios Hospitalares e Institucional</b>		
<b>Ano vigente</b>	<b>Quantidade de ocorrências</b>	<b>Comparação com o ano anterior</b>
2012	28	-
2013	28	0%
2014	56	100%
2015	60	7%
2016	Sem Registro	-
2017	22	-63 <sup>1</sup>
2018	17	-23%
2019	36	112%
2020	96	167%

Fonte: Adaptado de Instituto Sprinkler Brasil (2020)

Tabela 2 – Quantidade de incêndios em EAS nos EUA entre 2003 e 2015.

<b>Incêndios em EAS</b>		
<b>Ano vigente</b>	<b>Quantidade de incêndios</b>	<b>Quantidade de indivíduos feridos</b>
2003	6830	183
2004	6680	134
2005	6420	199
2006	6710	206
2007	6670	172
2008	6320	147
2009	5960	166
2010	5540	164
2011	5440	98
2012	5630	180
2013	5710	191
2014	5920	152
2015	6060	161

Fonte: Adaptado de Campbell (2017)

<sup>1</sup> Em comparação com o ano de 2015

## 2.4 Complexidade do Ambiente Hospitalar

O ambiente hospitalar é um dos ambientes mais complexos existentes atualmente (DAS et al., 2020). Em um hospital de grande porte, além dos inúmeros setores com equipamentos distintos, podem ser encontrados diferentes perfis de usuários. Justamente por isso, funcionários, pacientes e visitantes se encontram expostos a situações de risco que podem comprometer suas vidas. De acordo com Dyro (2006), existem diversas fontes que podem representar um risco iminente para esses perfis de usuários, assim como:

1. Energia proveniente de equipamento eletro cirúrgico (em ambiente enriquecido com oxigênio essa energia pode desencadear uma combustão);
2. Escolha incorreta de um gás (ar, gás medicinal e vácuo);
3. Utilização de água, com conteúdo químico impróprio, durante a diálise;
4. Grande quantidade de produtos químicos, solventes, esterilizantes, soluções de preparação da pele e gases anestésicos;
5. Presença de medicamentos que podem ser utilizados de maneira incorreta;
6. Presença de micro-organismos e vermes;
7. Grande quantidade de lixo hospitalar;
8. Elevado nível de ruído sonoro;
9. Utilização de equipamentos emissores de radiação;
10. Utilização incorreta de equipamentos (a montagem incorreta de um eletrocardiograma pode provocar um choque letal no paciente);
11. Funcionamento incorreto de algum equipamento (falha no gerador elétrico).

Além das distintas fontes que podem representar um risco aos usuários, o ambiente hospitalar apresenta elevada complexidade no que se refere à mobilidade dos indivíduos. Na maioria dos casos, funcionários e visitantes não possuem nenhuma restrição de mobilidade, estes indivíduos conseguem, por conta própria, evacuar a edificação diante de uma situação de risco iminente. No entanto, uma parcela significativa dos pacientes apresentam alguma restrição, variando de um nível mais brando — no qual o usuário necessita de um objeto para se locomover — até um nível mais grave — no qual o indivíduo não é capaz de se locomover por conta própria. De acordo com a NBR9050 (ABNT, 2004a), para que um indivíduo seja classificado com mobilidade reduzida, é necessário que o mesmo apresente, de forma temporária ou

permanente, uma limitação para se relacionar com o meio que o cerca e, conseqüentemente, utilizá-lo. Gestantes, indivíduos com deficiência, idosos, obesos e até mesmo pacientes acamados podem ser considerados exemplos de cidadãos com mobilidade reduzida.

Analisando o grau de dependência é possível classificar os pacientes hospitalares em três grupos distintos: independentes, parcialmente dependentes e totalmente dependentes (SECRETARIA INTEGRADA DE SAÚDE, 2014). Embora esta classificação seja voltada para a elegibilidade de pacientes no programa de internação domiciliar, algumas definições podem ser utilizadas no ambiente hospitalar. Assim, temos que:

1. Paciente Independente:

- Aquele que pode ser acompanhado por cuidador ou familiar bem treinado.

2. Paciente Parcialmente Dependente<sup>2</sup>:

- Dependente de terceiros para se locomover do leito;
- Possui nível de consciência com confusão mental;
- Dependente de medicações intravenosas de caráter intermitente;
- Necessita de curativos cirúrgicos ou especializados diariamente.

3. Paciente Totalmente Dependente:

- Dependente de prótese ventilatória contínua ou intermitente com 3 ou mais intervenções diárias;
- Encontra-se inconsciente ou totalmente restrito ao leito. É comum a utilização de suporte terapêutico, assim como: cateter vesical, traqueostomia, acesso venoso e diálise;
- Dependente de medicações intravenosas de caráter contínua;
- Possui cirurgia de fixação de coluna.

Considerando apenas os pacientes com alguma deficiência, pode-se classificá-los entre quatro grupos: deficientes físico-motores, sensoriais, cognitivos e múltiplos (DISCHINGER; ELY; PIARDI, 2012). As particularidades de cada grupo podem ser visualizadas abaixo:

1. Pacientes com deficiências físico-motoras:

- Neste tipo de deficiência, o conjunto das funções nervosas e/ou musculares se encontram alterados. Assim, indivíduos com este tipo de deficiência

<sup>2</sup> Para se enquadrar neste grau de dependência é necessário possuir duas ou mais condições.

apresentam dificuldades ou até mesmo se encontram impossibilitados de realizarem quaisquer movimentos. Dentre as principais causas para esta deficiência, podem ser citados: a ausência, má-formação, lesões e paralisia de membros superiores ou inferiores. Além disso, presença de dor espalhada por todo o corpo, excesso de contração ou falta de tonicidade muscular e ocorrência de tremores ou convulsões também podem ser causadores desta deficiência.

#### 2. Pacientes com deficiências sensoriais:

- Indivíduos que possuem este tipo de deficiência apresentam perdas significativas nos sistemas de percepção (orientação, háptico, visual, auditivo e paladar-olfato). É comum, nestes casos, a dificuldade para perceber diferentes tipos de informações ambientais.

#### 3. Pacientes com deficiências cognitivas:

- Neste tipo de deficiência, percebe-se a dificuldade dos indivíduos para compreender e lidar com as informações recebidas. Desta forma, os processos de aprendizado e aplicação de conhecimento, bem como comunicação linguística e interpessoal acabam sendo prejudicadas.

#### 4. Pacientes com deficiências múltiplas:

- Para que o indivíduo seja classificado com deficiência múltipla, é necessário que o mesmo apresente pelo menos duas das três deficiências mencionadas anteriormente.

## 2.5 Evacuação de Pacientes Hospitalares

A evacuação de pacientes é uma das atividades mais difíceis e complexas de todo o EAS. Independentemente do tipo de evacuação, emergencial ou programada, é primordial garantir a segurança dos profissionais da saúde e dos pacientes. Considerando o caso em que o paciente se encontra acamado e conectado a equipamentos que estão preservando a sua saúde, é fundamental realocar, o mais rápido possível, este paciente em outro EAS. Já para os demais casos, é necessário transferir o paciente para uma ala segura ou para o exterior da edificação.

Tanto para os pacientes acamados quanto para os pacientes com restrições de mobilidade, minimizar o tempo de evacuação é imprescindível para garantir a segurança de todos os envolvidos. Segundo Rahouti, Datoussaid e Lovreglio (2016), o tempo de evacuação é formado pelo tempo de pré-movimentação somado ao tempo

de movimentação. O primeiro, consiste no tempo gasto até que a equipe socorrista alcance o paciente que será transportado, acrescido do tempo consumido para prepará-lo e transferi-lo para o mecanismo de transporte mais adequado. O segundo tempo, por sua vez, está relacionado com a velocidade de deslocamento do mecanismo de transporte. A Tabela 3 apresenta o tempo de pré-movimentação e a velocidade de transporte para os mecanismos mais utilizados.

Tabela 3 – Tempo de pré-movimentação e velocidade de transporte dos principais mecanismos de transporte.

<b>Mecanismo de transporte</b>	<b>Tempo de pré-movimentação (s)</b>	<b>Velocidade de transporte (m/s)</b>
Cadeira de evacuação	32,7	1,46
Cadeira de resgate	41,5	1,50
Lona de resgate	62,5	0,89
Maca de resgate	77,7	1,04

Fonte: Adaptado de Rahouti, Datoussaid e Lovreglio (2016)

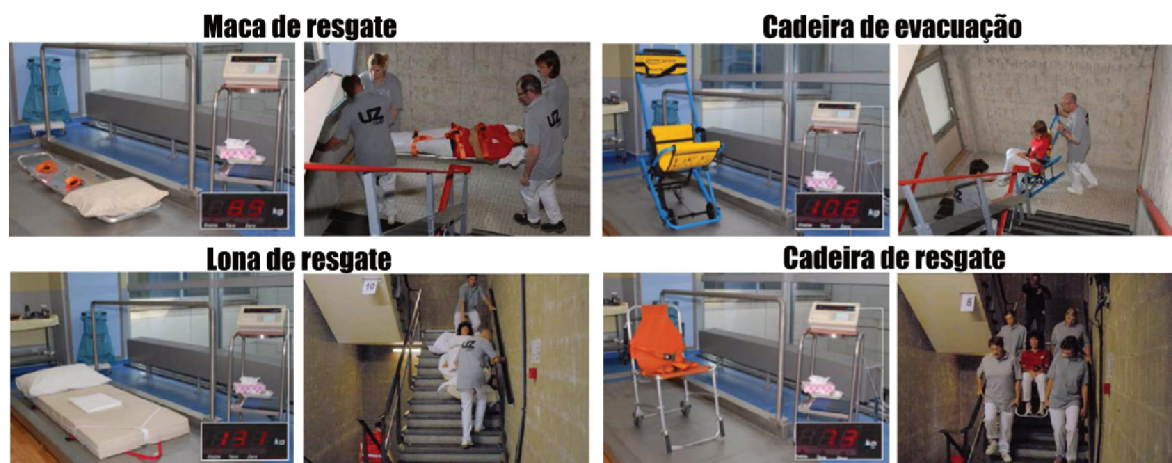
Embora os mecanismos de transporte, mencionados anteriormente, sejam úteis para EAS verticalizados e não-verticalizados, a velocidade de transporte adotada no estudo de Rahouti, Datoussaid e Lovreglio (2016) considera um cenário de deslocamento horizontal. Nos casos em que o estabelecimento é verticalizado e não possui rampas ou elevadores de emergência<sup>3</sup>, que podem operar normalmente durante uma emergência, o tempo de pré-movimentação e a velocidade de transporte podem ser diferentes.

No trabalho desenvolvido por Hunt, Galea e Lawrence (2013) foi analisado o tempo de evacuação para um edifício de 11 andares utilizando os principais mecanismos de transporte (Figura 6). O objetivo do estudo consistiu em analisar o tempo necessário para evacuar uma ala hospitalar inteira, quando a escada de emergência é a única rota de fuga possível. O treinamento de evacuação foi fragmentado em três fases: preparação, transporte horizontal (através dos corredores do hospital até atingir a escada de emergência) e transporte vertical. O estudo analisou a diferença no tempo de evacuação entre o turno diurno e noturno, bem como entre uma equipe composta apenas por homens ou por mulheres. É importante ressaltar que para a evacuação horizontal os equipamentos com rodas (cadeira de resgate e cadeira de evacuação) foram os mais rápidos, atingindo, em média, a velocidade de 1,5 m/s. Para a evacuação vertical, o mecanismo mais rápido foi a cadeira de evacuação, com média de 0,83

<sup>3</sup> Para que o elevador possa ser utilizado durante uma emergência é necessário que este elevador: seja independente dos elevadores comuns; possua paredes resistentes ao fogo; atenda todos os pavimentos da edificação; esteja conectado a compartimentos enclausurado e pressurizado; possua alimentação elétrica independente; esteja conectado a um motogerador de emergência; possua a opção de se conectar a um gerador externo (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2014).

m/s. A Tabela 4 apresenta o tempo total para evacuar uma ala hospitalar utilizando os mecanismos de transporte apresentados anteriormente.

Figura 6 – Principais mecanismos de transporte.



Fonte: Adaptado de Hunt, Galea e Lawrence (2013)

Tabela 4 – Tempo total (h) para evacuar a ala hospitalar utilizando os principais mecanismos de transporte.

Mecanismo de transporte	Equipe masculina		Equipe feminina	
	Diurno (h)	Noturno (h)	Diurno (h)	Noturno (h)
Cadeira de evacuação	0,5	0,9	0,6	1,1
Cadeira de resgate	1,6	3,1	3,2	3,5
Lona de resgate	1,1	1,6	1,5	2,1
Maca de resgate	3,3	3,8	3,9	4,7

Fonte: Adaptado de Hunt, Galea e Lawrence (2013)

Através da Tabela 4 pode-se perceber que tanto para a equipe masculina quanto para a feminina, o tempo de evacuação foi maior no turno da noite. Essa diferença, entre turno diurno e noturno, pode ser explicada pelo fato de que no período da noite a equipe médica é reduzida, geralmente está mais cansada do que a equipe diurna e, em alguns casos, podem estar repousando caso não haja nenhuma ocorrência. Além disso, o tempo de evacuação é diretamente proporcional à quantidade de indivíduos necessários para carregar o equipamento de transporte. A cadeira de evacuação necessita de apenas um indivíduo, permitindo que outros membros da equipe fiquem livres para realizar outra atividade. A maca de resgate e a cadeira de resgate, por sua vez, necessitam de quatro indivíduos, elevando o desgaste da equipe. Ademais, o formato da maca de resgate interfere na velocidade de deslocamento vertical, justamente



por isso foi o mecanismo de transporte mais lento, sendo necessário 228 minutos para evacuar a ala hospitalar.

## 2.6 Segurança Hospitalar

Os mecanismos de transporte hospitalar são voltados para os pacientes dependentes e os totalmente dependentes. No caso dos pacientes independentes, capazes de evacuarem a edificação por conta própria, o ambiente em si será responsável por facilitar ou não a evacuação, ou seja, para este perfil de usuário a severidade da situação de emergência está diretamente relacionada com o ambiente hospitalar. De acordo com Gouveia e Etrusco (2002), a familiaridade do indivíduo com o espaço ao seu redor pode reduzir a severidade da situação, visto que, em teoria, indivíduos familiarizados com o ambiente não terão dificuldade para alcançar a saída de emergência mais próxima. Através dessa informação, pode-se deduzir que os profissionais da área da saúde que frequentam diariamente aquele ambiente não terão dificuldade para abandonar a edificação diante de uma condição adversa. No entanto, existem pacientes que nunca estiveram naquele ambiente hospitalar ou então não possuem grande familiaridade com o espaço ao seu redor. Neste caso, a eficiência da sinalização de emergência influenciará na severidade da situação de emergência (GOUVEIA; ETRUSCO, 2002).

Diante desse cenário, durante a construção do EAS algumas normas técnicas e soluções de segurança devem ser levadas em consideração, garantindo que tanto os indivíduos familiarizados quanto os não familiarizados com o ambiente consigam atingir, o mais rápido possível, um local seguro. Tais normas tem o intuito de orientar os procedimentos mínimos necessários para garantir a segurança do ambiente e de seus usuários. Para isso, estudos realizados previamente ou situação reais ocorridas no passado podem ser considerados. No caso da segurança hospitalar, paralelo à utilização das normas técnicas, é comum a adoção de medidas protetivas, destinadas a minimizar os danos decorrentes de uma situação adversa. No caso de um incêndio, as medidas protetivas podem interferir diretamente no crescimento do incêndio, na propagação para ambientes adjacentes e no combate a esse sinistro (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2014).

### 2.6.1 Medidas de Proteção Passiva

Medidas de proteção passiva estão diretamente relacionadas com a fase construtiva do estabelecimento. Ou seja, tanto a seleção dos materiais quanto o procedimento de instalação e fabricação destes materiais podem influenciar diretamente na severidade de uma situação de emergência (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2014). A escolha por materiais não inflamáveis pode dificultar a propagação

de um incêndio para ambientes adjacentes. Vale ressaltar ainda, o papel primordial desempenhado pelos arquitetos e engenheiros no que tange a inserção de medidas de proteção passiva. Estes são responsáveis pela adição de áreas de afastamento mínimo, barreiras corta fogo e fumaça, áreas de enclausuramento, selagens corta fogo, sinalização de emergência, entre outros (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2014).

### **2.6.1.1 Rotas de Emergência**

As saídas de emergência e rotas de fuga fazem parte das medidas de proteção passiva mais importantes (SOUZA, 2015). São representadas pelas portas de emergência, corredores e escadas de evacuação. Devem garantir a evacuação de todos os indivíduos do estabelecimento, bem como a entrada das equipes de emergência e resgate.

De acordo com a NBR9077 (ABNT, 2001) as rotas de emergência podem ser caracterizadas como um caminho contínuo e devidamente protegido através de portas, corredores, *halls*, passagens externas, entre outros. Este caminho deve ser percorrido pelo usuário, em caso de uma situação de emergência, de qualquer local interno do estabelecimento até atingir um local aberto, uma via pública ou um espaço seguro.

### **2.6.1.2 Sinalização de Emergência**

A sinalização de emergência é fundamental para auxiliar — durante uma emergência — indivíduos não familiarizados com o estabelecimento a encontrar e seguir as rotas de fuga até atingir a saída de emergência ou local seguro mais próximo. Além disso, a sinalização de emergência tem o intuito de informar a localização de equipamentos de segurança e a forma correta de utilização. Dentre esses equipamentos, destacam-se: alarmes, bomba de incêndio, extintor, hidrante, entre outros. Segundo a NBR13434-2 (ABNT, 2004b), existem, aproximadamente, 30 sinalizações de emergência, as mais comuns estão retratadas na Figura 7.

Por meio da Figura 7, é possível identificar a existência de um padrão tanto para a forma quanto tonalidade da sinalização. A cor vermelha é utilizada para símbolos de proibição, equipamentos de combate a incêndio e alarmes; a cor verde é adotada para símbolos de orientação e socorro; por fim, há ainda sinalizações na cor preta, utilizadas para alertas e sinais de perigo. Além das tonalidades adotadas, segundo a NBR13434-2 (ABNT, 2004b), algumas sinalizações de emergência necessitam de uma tonalidade de contraste fotoluminescente, podendo ser de cor branca ou amarela. Devido à fotoluminescência em algumas sinalizações, é possível visualizá-las mesmo em condições adversas, ou seja, na ausência de luz ou na presença de fumaça.

Além da fotoluminescência, através da NBR13434-2 (ABNT, 2004b) ainda é possível determinar o posicionamento adequado para cada sinalização de emergência,

Figura 7 – Principais Sinalizações de Emergência.



Fonte: Adaptado da NBR13434-2 (ABNT, 2004b)

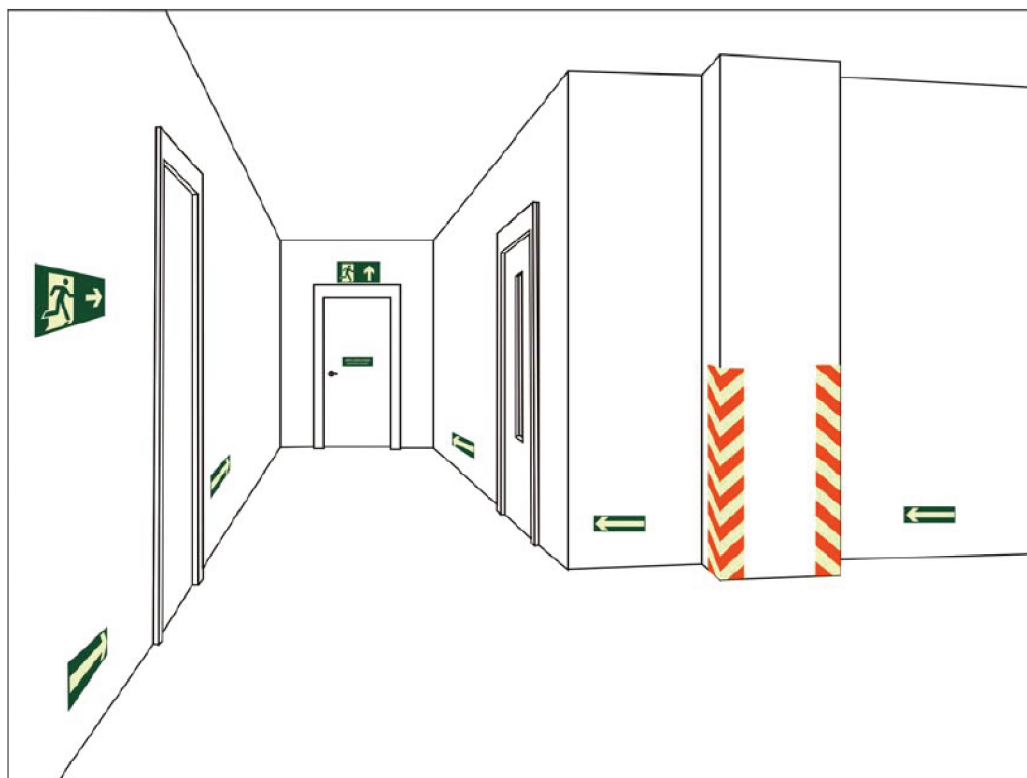
bem como o tamanho da sinalização e a distância entre as sinalizações. A Figura 8 retrata um exemplo de associação de distintas sinalizações de emergência.

### 2.6.1.3 Compartimentação do Estabelecimento

A compartimentação baseia-se na divisão do estabelecimento em pequenas "células". Tanto a compartimentação vertical quanto a horizontal tem como objetivo evitar a propagação da situação adversa, como um incêndio, para ambientes adjacentes, no mesmo pavimento ou não. De acordo com a NBR 14432 (ABNT, 2000) a compartimentação em um estabelecimento é primordial para evitar o colapso estrutural. A norma afirma, ainda, que os elementos da compartimentação devem satisfazer os requisitos de estanqueidade e isolamento por um tempo pré-determinado. Este tempo deve ser suficiente para que os ocupantes da edificação consigam abandoná-la de forma segura, para que sejam iniciadas as operações de combate ao incêndio e para que os danos a edificação sejam os menores possíveis.

Segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (2014), as "células" de compartimentação se encontram separadas horizontal e verticalmente do restante da edificação. Esta separação é feita através da utilização de portas corta fogo e fumaça, paredes, janelas e outros elementos capazes de resistirem às chamas do incêndio. A ausência destes elementos ou a instalação inadequada possibilita a propagação das chamas tanto no sentido vertical quanto horizontal, aumentando os prejuízos e

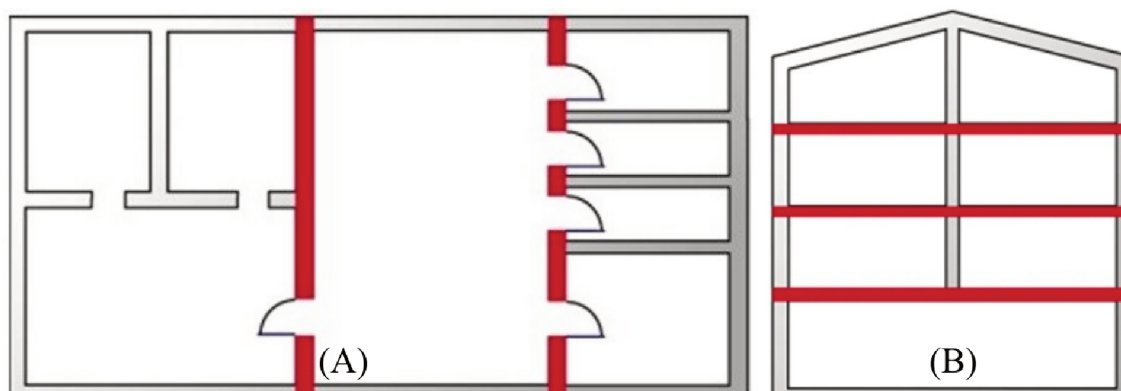
Figura 8 – Associação de Distintas Sinalizações de Emergência.



Fonte: NBR13434-2 (ABNT, 2004b)

dificultando a evacuação dos indivíduos. A imagem da esquerda (Figura 9a) retrata um exemplo de compartimentação horizontal, ou seja, existem paredes e portas capazes de resistirem às chamas do incêndio. A imagem da direita (Figura 9b) retrata a compartimentação horizontal, na qual os pavimentos são resistentes e dificultam a propagação das chamas para outros pavimentos.

Figura 9 – Exemplo de compartimentação horizontal (A) e vertical (B).



Fonte: Adaptado de HILTI (2021)

## 2.6.2 Medidas de Proteção Ativa

As medidas de proteção ativa estão diretamente relacionadas à ocorrência de uma emergência. De acordo com Agência Nacional de Vigilância Sanitária (2014), as medidas de proteção ativa englobam os sistemas de detecção, alarmes, sistemas manuais para extinguir o sinistro, sistema de supressão com acionamento automático, iluminação de emergência, entre outros.

### 2.6.2.1 Iluminação de Emergência

De acordo com a NBR10898 (ABNT, 1999), a iluminação de emergência deve iluminar áreas escuras de passagem, sejam elas horizontais ou verticais. Devem clarear, ainda, áreas de trabalho e áreas técnicas. A intensidade da iluminação de emergência deve ser suficiente para evitar acidentes e garantir a evacuação dos usuários da edificação. Ademais, para determinar a intensidade da iluminação é primordial considerar situações adversas, como por exemplo a existência de fumaça no ambiente. Em relação ao tempo de funcionamento da iluminação de emergência, a NBR10898 (ABNT, 1999) afirma que o tempo de funcionamento deve ser suficiente para que os indivíduos, sem restrições de mobilidade, abandonem o estabelecimento. Além disso, o tempo necessário para a equipe de resgate localizar e auxiliar indivíduos perdidos deve ser considerado.

### 2.6.2.2 Extintores de Incêndio

Segundo a NBR12693 (ABNT, 1993), o sistema de proteção ativo, utilizando extintores para combater o incêndio, deve ser projetado considerando aspectos previamente determinados. Dentre tais aspectos, destacam-se: classe de risco e área a

ser protegida, natureza do incêndio, agente extintor que será utilizado, capacidade extintora e distância máxima percorrida até alcançar o extintor. Em relação a distância máxima que deve ser percorrida até alcançar o extintor, a NBR12693 (ABNT, 1993) determina que a distância deve variar entre 10 e 20 metros, dependendo do tipo de incêndio (classes A, B, C e D) e do tipo de risco existente no EAS.

### 2.6.2.3 Alarmes

Durante o desenvolvimento de um sistema de detecção por meio de alarmes, é primordial considerar aspectos pertinentes ao ambiente em que será instalado o sistema, tais como: plantas da edificação, materiais existentes, condições, temperatura, umidade, nível de ruído, população fixa e flutuante, entre outros. É fundamental que o sistema de detecção e alarme seja capaz de detectar um princípio de incêndio no menor tempo possível (ABNT, 2010). Dentro de um sistema de alarme e detecção, é possível encontrar detectores de incêndio, detectores de fumaça e detectores de chama. Tais detectores devem estar conectados a um sistema de alarme, tanto sonoro quanto visual, possibilitando assim, alertar os cidadãos que se encontram neste estabelecimento, inclusive aqueles que estiverem distantes da situação de emergência.

## 2.7 Treinamento Prático de Evacuação

Mesmo com a implementação de medidas de proteção passiva e ativa, é inevitável a ocorrência de situações adversas que podem colocar em risco a saúde dos indivíduos ou a estrutura do EAS. Desta forma, diante de uma situação inesperada, é primordial que os planos de emergência, estabelecidos previamente, sejam colocados em prática, reduzindo assim, os danos provocados no estabelecimento e, principalmente, garantindo que todos os indivíduos presentes na edificação consigam evacuá-la em segurança. Em seu trabalho, Rego (2011) definiu o plano de emergência como sendo um conjunto de regras e procedimentos desenvolvidos para minimizar ou até mesmo evitar as consequências provocadas por uma situação adversa. Ademais, o mesmo autor também apresentou aspectos que devem ser contemplados durante o desenvolvimento do plano de emergência, tais como:

- Descrição das instalações juntamente com as plantas de localização;
- Cenários de acidentes anteriores;
- Área de abrangência e limitações do plano;
- Atribuições e responsabilidades individuais de cada indivíduo envolvido;

- Ações de resposta para os distintos acidentes considerados;
- Recursos humanos e materiais;
- Cronograma de exercícios teóricos e práticos.

Um documento, contendo tais aspectos, deve ser produzido e disponibilizado para todos os cidadãos permanentes do estabelecimento, garantindo que os mesmos tenham conhecimento das ações necessárias diante de uma situação de emergência. Embora os planos de emergência sejam fundamentais em EAS, é necessário que os indivíduos do estabelecimento consigam, diante de uma situação real de emergência, aplicar na prática, as ações necessárias diante do sinistro. Neste sentido, surgem os planos de preparação. Estes, determinam a realização periódica de exercícios simulados acerca das situações de emergência. Segundo a NR-23 (1978), através desses exercícios simulados é possível que os indivíduos permanentes memorizem o significado do sinal de alarme. Tais exercícios também possuem o intuito de treinar esses cidadãos para realizar uma evacuação segura, constante e sem pânico. Ademais, por meio desses simulados, tarefas e responsabilidades podem ser atribuídas a indivíduos capacitados. Por fim, durante esse treinamento, pode-se verificar o funcionamento dos alarmes e da sinalização de emergência, principalmente no que se refere ao posicionamento dessa sinalização; é possível identificar se o plano de emergência está abrangendo ações pertinentes relacionadas ao exercício simulado.

Neste sentido, o documento desenvolvido pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (2014) recomenda a realização de exercícios simulados com a participação de todos os indivíduos permanentes do estabelecimento, devendo ser realizados exercícios de abandono parcial e completo, bem como exercícios de remoção de pacientes em cenários de evacuação horizontal e vertical. Por fim, recomenda-se periodicidade para realização desses treinamentos. Em EAS de pequeno porte é recomendado simulados parciais a cada seis meses e simulados gerais uma vez ao ano. Já para EAS de grande porte é recomendado treinamentos parciais a cada três meses e simulados gerais duas vezes ao ano.

## 2.8 Realidade Virtual

Nos últimos anos, devido o avanço da tecnologia, foi possível introduzir o conceito da RV na realização de exercícios e treinamentos em diversas aplicações, inclusive no que tange a medicina e áreas de saúde relacionadas. Independente da área de aplicação, a RV almeja retratar, de forma virtual, uma situação real. De acordo com a teoria do Contínuo Real-Virtual, proposta por Milgram et al. (1994), entre o ambiente real e o ambiente virtual existe a realidade misturada. Esta última, por sua vez, pode

ser dividida em subgrupos que distinguir-se-ão de acordo com o nível de realidade ou virtualidade presente em cada subgrupo (Figura 10).

Figura 10 – Contínuo Real-Virtual proposto por Milgram et al. (1994).



Fonte: Adaptado de Milgram et al. (1994)

Entre o ambiente real (extremo esquerdo da Figura 10) e o ambiente virtual (extremo direito da Figura 10) é possível visualizar a existência da Realidade Aumentada (RA) e da Virtualidade Aumentada (VA). De acordo com Tori, Hounsell e Kirner (2018), na RA, o usuário — presente no mundo real — é capaz de interagir com elementos virtuais posicionados tridimensionalmente no espaço físico real. A VA, por sua vez, ocorre quando o usuário é introduzido em uma realidade virtual enriquecida com elementos existentes no mundo real.

Embora a RV tenha se popularizado nos últimos anos, a área de pesquisa relacionada à essa tecnologia e seus subcampos datam de 1950. Na década de 1950, Morton Heilig desenvolveu e patenteou um equipamento capaz de criar, durante a transmissão de um filme, a sensação de imersão no usuário. Através desse projeto, conhecido como *Sensorama Simulator*, o usuário era submetido a um filme em visão estereoscópica. Por meio de vibrações, sons, odores e vento o usuário acreditava fazer parte do filme (ROBINETT, 1994). Na década de 1960, Ivan Sutherland desenvolveu o primeiro protótipo de capacete de realidade virtual (*Head-Mounted Display (HMD)*), denominado *Ultimate Display* (SUTHERLAND, 1965). Através deste dispositivo é possível visualizar imagens geradas pelo computador e rastrear os movimentos da cabeça do usuário (UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO, 2021). Posteriormente, por meio de um experimento prático, Sutherland (1965) foi capaz de produzir no usuário, a sensação de imersão e da telepresença. Para isso, um HMD no interior da edificação foi acoplado à duas câmeras na parte mais alta do exterior da edificação. Movimentos realizados pela cabeça do usuário no ambiente interno geravam movimentos em sincronia com as câmeras no ambiente externo. Foi constatado que ao olhar para baixo, mesmo estando em segurança no interior da edificação, o usuá-



rio sentia pânico ao se deparar com a imagem captada pelas câmeras no topo da edificação (TORI; HOUNSELL; KIRNER, 2018).

Após o desenvolvimento desses protótipos, considerados como o marco inicial da RV e seus subcampos, inúmeras pesquisas acerca desse tema foram realizadas, permitindo que a RV alcançasse o patamar que conhecemos atualmente. De acordo com a definição de Cardoso e Lamounier (2006) a RV consiste na combinação de *softwares*, computadores e periféricos. Assim, um ambiente gráfico realista pode ser criado, permitindo a locomoção do usuário através desse ambiente virtual e a interação com objetos gráficos. Segundo a definição de Tori e Kirner (2006), a RV pode ser interpretada como sendo uma interface avançada do usuário. Por meio dessa interface, aplicações podem ser executadas no computador, o que permitirá a visualização e movimentação no ambiente tridimensional em tempo real, bem como a interação com esse ambiente. Já para Jerald (2015), a RV consiste em um ambiente digital gerado em computador capaz de interagir com o usuário de tal forma que o indivíduo tenha a impressão de que o ambiente é real.

Independente da definição adotada para RV, é comum, ao abordar este tema, mencionar os conceitos de imersão e presença. De acordo com Cardoso e Lamounier (2006), os canais multissensoriais de visão, audição, tato e olfato são primordiais para consolidar uma interface homem-máquina natural e poderosa. Através dessa interface, o usuário é capaz de se sentir imerso no ambiente virtual. Segundo a definição criada por Slater e Wilbur (1997), imersão está relacionada com a capacidade dos dispositivos computacionais fornecerem, ao usuário, a ilusão de realidade inclusiva, extensa, envolvente e vívida; ou seja, está relacionada com o envio de estímulos aos receptores sensoriais. Dentre as variáveis que podem alterar a imersão percebida pelo usuário, Cummings e Bailenson (2016) destacam:

- Nível de rastreamento: está relacionado com o tipo e a quantidade de graus de liberdade provenientes do dispositivo de rastreo;
- Visão estereoscópica: atrelado à presença ou não da visão estereoscópica no dispositivo de visualização;
- Qualidade da imagem: está relacionado à qualidade, realismo e fidelidade visual proveniente pelo sistema imersivo;
- Campo de visão: refere-se ao tamanho do *display* existente no dispositivo de visualização.

O conceito de presença, por sua vez, está relacionado com o estado de consciência, ou seja, é a sensação que o usuário sente de estar inserido no ambiente virtual (SLATER; WILBUR, 1997). De acordo com o estudo realizado por Jerald (2015), existem quatro ilusões de presença: espacial, auto incorporação, interação física e

comunicação social. A primeira, refere-se à sensação de estar fisicamente presente no ambiente virtual. A segunda, está relacionada à percepção de possuir um corpo virtual. A terceira, está atrelada à adição de distintos *feedback*, sejam eles relacionados à visão, audição ou tato. Por fim, a quarta, está vinculada com a percepção de estar se comunicando com um personagem virtual.

Após definir RV e os dois principais conceitos atrelados à essa tecnologia, é essencial apresentar os principais componentes desse sistema. De um lado, há os componentes atrelados ao *hardware*, assim como: dispositivos de entrada (rastreadores, luvas eletrônicas, mouse 3D, teclado, *joystick*, reconhecedores de voz, entre outros), *displays* multissensoriais (áudio, visual, háptico), processadores e redes. Do outro lado, encontram-se com componentes associados ao *software*, assim como: controladores de simulação, ferramentas de autoria, objetos virtuais, funções de interação e interface de entrada e saída (TORI; HOUNSELL; KIRNER, 2018).

Considerando apenas os *displays* visuais, quando a interação ocorre por meio de um HMD ou através de múltiplas projeções (*Cave Automatic Virtual Environment* (CAVE)) considera-se que o ambiente é imersivo. No entanto, quando a interação for realizada através de um monitor ou de uma projeção simples, considera-se que o ambiente não é imersivo (TORI; HOUNSELL; KIRNER, 2018). Já para George, Sleipness e Quebbeman (2017) o termo “RV não imersiva” pode ser substituído por “RV semi imersiva”. Esta, é caracterizada por um ambiente em que o usuário não se encontra totalmente cercado pelo mundo virtual (visual, auditiva ou fisicamente), ou seja, o usuário é capaz de visualizar o ambiente virtual, mas também consegue visualizar, facilmente, o ambiente real que está ao seu redor.

Independente da divergência entre RV não imersiva e semi imersiva, a utilização de HMD para criar RV imersiva é consenso entre ambos os autores. Este dispositivo, que tem a função de isolar o usuário do mundo real, é formado por pequenos *displays* de cristal líquido capazes de gerar visão estereoscópica. Além da utilização do HMD, é comum o uso de dispositivos portáteis (mouse 3D) que permitem o usuário se locomover pelo ambiente virtual e interagir com o ambiente e os objetos virtuais. Por fim, a utilização de um fone de ouvido possibilita a sonorização tridimensional, contribuindo assim, com o realismo do ambiente virtual percebido pelo usuário (TORI; HOUNSELL; KIRNER, 2018).

Embora a RV e os dispositivos necessários para imergir o usuário no mundo virtual tenham evoluído consideravelmente nos últimos anos, ainda existem alguns tópicos que precisam ser melhorados. Em primeiro lugar, os dispositivos de RV mais robustos são levemente desconfortáveis quando utilizados por longos períodos. Em segundo lugar, o uso desses dispositivos pode provocar desconforto e enjoo nos usuários, efeitos provenientes do *motion sickness*<sup>4</sup>. Em terceiro lugar, para que a aplicação não cause

<sup>4</sup> Durante exposição à uma aplicação imersiva o cérebro acaba entrando em conflito, os estímulos vi-

desconforto no usuário nem faça com que ele deixe de se sentir imerso no ambiente virtual, é necessário que o tempo de latência, ou seja, o tempo de resposta entre a leitura de um dado de entrada e sua respectiva resposta, seja muito baixo. Para isso é necessário um bom *hardware* e *software*, o que eleva o custo dessa tecnologia (TORI; HOUNSELL; KIRNER, 2018).

## 2.9 Jogos Sérios

Independente dos dispositivos de entrada e saída de dados, utilizados para interagir e visualizar o ambiente virtual, é comum, ao abordar a temática da RV, mencionar o conceito de jogos sérios (*Serious Games*). No entanto, antes de apresentar as definições de um jogo sério, é necessário definir o que é um jogo. Segundo Zyda (2005), o jogo é uma competição física ou mental disputada por meio de regras específicas e com o objetivo de divertir ou recompensar os participantes. Um jogo de videogame, por sua vez, também consiste em uma competição mental disputada sobre regras específicas. No entanto, o adversário é o próprio videogame (ZYDA, 2005). Atualmente, com o avanço da tecnologia, o adversário também pode ser outro usuário, ambos competindo no mesmo AV.

O jogo sério, na maioria dos casos, está vinculado a um videogame ou computador, por isso sua definição está mais próxima da definição de um jogo de videogame. Porém, a definição de um jogo sério é mais complexa. De acordo com Zyda (2005), trata-se de uma competição mental na qual o computador e regras específicas são utilizadas para promover, através do entretenimento e treinamento, ganho e retenção de conhecimento em distintos setores, tais como: governamental ou corporativo, educação, saúde, políticas públicas e comunicação estratégica. Para Michael e Chen (2006), o entretenimento, o prazer e a diversão não são os objetivos principais de um jogo sério. Todavia, alguns dos recursos utilizados nos jogos tradicionais podem ser utilizados nos jogos sérios, assim como: diversão, envolvimento, motivação, criatividade e emoção. Tais recursos permitem que a aprendizagem através dos jogos sérios, seja mais eficaz do que a aprendizagem por meio de métodos tradicionais (PANZOLI et al., 2017).

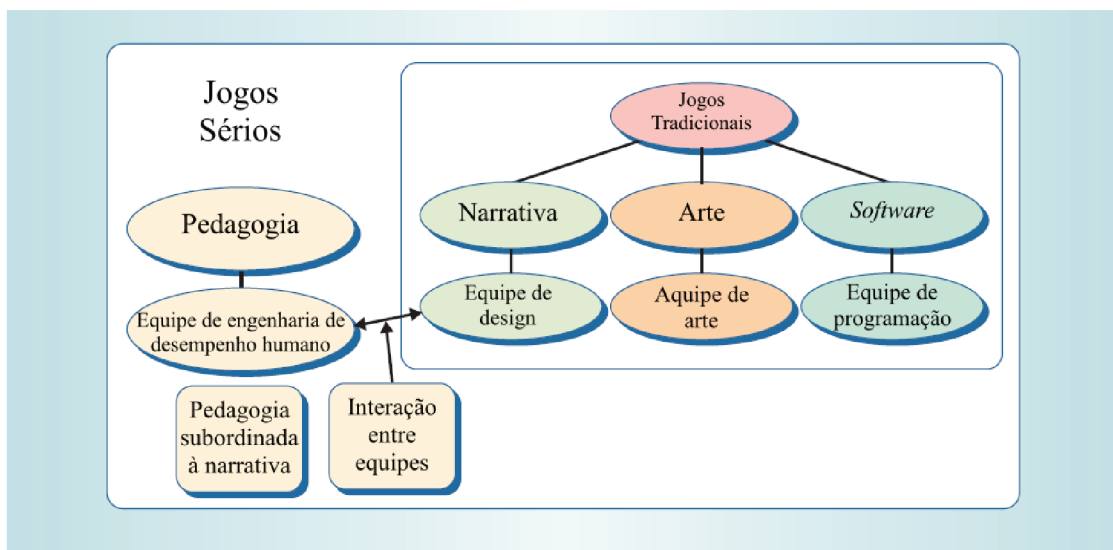
Ainda de acordo com Zyda (2005), os jogos sérios estão diretamente relacionados com a pedagogia. Assim sendo, por meio de atividades que educam ou instruem, o conhecimento e a habilidade do usuário podem ser aprimorados. A pedagogia, no entanto, deve estar subordinada à narrativa da aplicação (Figura 11). Essa subordi-

---

suais gerados pelo dispositivo imersivo são diferentes dos vários sinais monitorados pelo organismo. Enquanto o usuário da aplicação se encontra estático no mundo real, seu avatar está se movendo no mundo virtual. A divergência entre a percepção visual e a percepção proprioceptiva é interpretada pelo organismo como um mal-estar ou alucinação, o que pode provocar enjoo ou desconforto no usuário (TORI; HOUNSELL; KIRNER, 2018).

nação pode ser justificada pelo fato de que a ausência de uma narrativa sólida pode comprometer o engajamento do usuário durante a simulação. Desta forma, para que o jogo sério obtenha êxito em seu papel, é essencial, durante o desenvolvimento da aplicação, a interação entre distintas equipes.

Figura 11 – Relação entre jogos sérios e pedagogia.



Fonte: Adaptado de Zyda (2005)

Dentre as distintas aplicações a qual um jogo sério pode ser submetido, é comum utilizá-lo na realização de treinamentos. No entanto, para que um sistema de treinamento possa ser baseado em um jogo sério, propriamente dito, é necessário que os critérios, presentes na Figura 12, sejam satisfeitos (MARTENS; DIENER; MALO, 2008). A ausência dos critérios relacionados à aprendizagem cria jogos de simulação voltados exclusivamente para o treinamento. A ausência da simulação gera como resultado jogos educacionais voltados, na maioria dos casos, para o público infantil. Por fim, a ausência de aspectos relacionados aos jogos produz simulações voltadas apenas para o treinamento.

Figura 12 – Critérios para que o treinamento seja baseado em jogo sério.



Fonte: Adaptado de Martens, Diener e Malo (2008)

## 2.10 Aplicações na Área da Saúde

A utilização da RV em associação com os jogos sérios é, atualmente, utilizada em inúmeros setores da sociedade, inclusive na área da saúde e em seus subcampos. Dentre a área de atuação dessa tecnologia, é possível encontrar desde aplicações cirúrgicas simples até aplicações extremamente complexas. Vince (2004), em seu livro, apresentou dois exemplos nos quais a RV estava sendo utilizada para simular cirurgias realizadas por meio de laparoscopia. Além dos dispositivos utilizados serem capazes de fornecer *feedback* tátil, ainda é possível visualizar, em tempo real, a resposta visual do sistema à movimentação realizada pelo usuário. Outra aplicação simples de RV pode ser encontrada no estudo realizado por Thomsen et al. (2017). Neste caso, profissionais médicos foram submetidos a um simulador em RV desenvolvido para simular uma cirurgia de catarata. No que se refere às aplicações mais complexas, Xin et al. (2019) analisou a utilização da RV para treinar a inserção de pinos na coluna.

Estudos recentes afirmam que usuários treinados em RV obtiveram resultados melhores do que aqueles que não utilizaram esta tecnologia. Profissionais médicos que treinaram a realização da cirurgia de catarata através da RV obtiveram um desempenho melhor do que os profissionais que não utilizaram o mesmo simulador (THOMSEN et al., 2017). Alunos que praticaram a inserção de pinos na coluna utilizando um simulador RV obtiveram melhor precisão, taxa de sucesso e eficiência do que alunos que

utilizaram apenas os métodos tradicionais (XIN et al., 2019).

A utilização de simuladores em RV na área da saúde não se limita apenas ao treinamento cirúrgico. No Capítulo 3 será apresentado alguns trabalhos acerca da utilização da RV para simular o treinamento de evacuação em EAS diante de um risco iminente.

## 2.11 Considerações Finais

Infelizmente, situações adversas como incêndios são mais comuns em EAS do que se imagina. Para agravar ainda mais a situação, parcela significativa dos indivíduos que frequentam esse estabelecimento apresentam alguma restrição de mobilidade, podendo ser parcial ou total. Independentemente do grau de restrição, diante de uma emergência, é primordial garantir a segurança dos profissionais de saúde e dos pacientes.

Justamente por isso, durante as fases de construção e utilização de um EAS, medidas de proteção passiva e ativa devem ser adotadas. Na proteção passiva, realizada durante a fase construtiva, são adicionadas rotas de fuga, saídas de emergência, sinalização de emergência e pequenas “células” compartimentadas. Já na proteção ativa, são adicionadas iluminação de emergência, extintores de incêndio e alarmes.

Mesmo com a implementação de medidas de proteção passiva e ativa, é essencial estabelecer um conjunto de regras e procedimentos (planos de emergência) que visam minimizar ou evitar as consequências provocadas por uma situação adversa. Além disso, os planos de emergência devem ser utilizados como base para criação dos planos de preparação, que buscam realizar periodicamente exercícios simulados acerca das situações de emergência. Tais exercícios devem contar com a participação de todos os indivíduos permanentes e sua repetição está diretamente relacionada com a dimensão e complexidade do EAS, quanto maior e mais complexo, maior a quantidade de treinamentos ao longo do ano.

Diante desse panorama e do conhecimento acerca da complexidade do ambiente hospitalar, é possível imaginar a dificuldade para realizar periodicamente tais exercícios com todos os indivíduos permanentes. Neste contexto, a RV surge como uma possível evolução para realização desse treinamento.

---

## Revisão Sistemática

### 3.1 Introdução

Atualmente, inúmeras pesquisas, sobre temas semelhantes ou não, são produzidas diariamente ao redor do mundo. Justamente por isso, antes de inicializar o desenvolvimento de um projeto de pesquisa, é primordial identificar e conhecer o estado da arte acerca do tema pesquisado. Uma das maneiras de identificar e conhecer o estado da arte é através da condução de uma RS. Esta abordagem é conhecida como uma forma de estudo secundário na qual uma metodologia, previamente estabelecida, é utilizada para identificar, avaliar e interpretar estudos primários relevantes às Questões de Pesquisa (QP) específicas (KITCHENHAM; CHARTERS, 2007). Em outras palavras, a RS permite identificar o que já foi produzido cientificamente sobre o tema pesquisado e, principalmente, quais lacunas ainda precisam ser abordadas em novas pesquisas. Diante desse panorama, o presente capítulo irá apresentar o processo de RS desenvolvido para esta pesquisa, resumando o estado da arte e as lacunas identificadas. Além disso, será apresentado os trabalhos correlatos acerca da utilização dos jogos sérios para treinamento de evacuação hospitalar diante de um incêndio.

### 3.2 Metodologia

A RS pressupõe a utilização de uma metodologia bem definida. Desta forma, a obtenção de resultados tendenciosos se torna menos provável. Além disso, a RS fornece informações sobre um determinado tema por meio de uma ampla gama de cenários e métodos empíricos. Independentemente dos resultados obtidos por meio dos estudos primários, o resultado da RS será pertinente. Caso os estudos primários apresentem resultados consistentes, a RS apresentará indícios de que o fenômeno é robusto e transferível. Porém, se os resultados dos estudos primários forem inconsistentes, a

RS apresentará lacunas existentes acerca do tema e, conseqüentemente, variações que podem ser abordadas em novos estudos (KITCHENHAM; CHARTERS, 2007).

Além da RS identificar o atual estado da arte sobre o tema da pesquisa, deve responder as QP previamente determinadas. Para isso, os estudos primários selecionados devem, necessariamente, responder a pelo menos uma QP. Para compreender o estado da arte acerca do tema do presente projeto, três QP foram definidas com o intuito de auxiliar, em etapas futuras da RS, a extração de informações pertinentes. A seguir, encontra-se as QP definidas e suas respectivas justificativas.

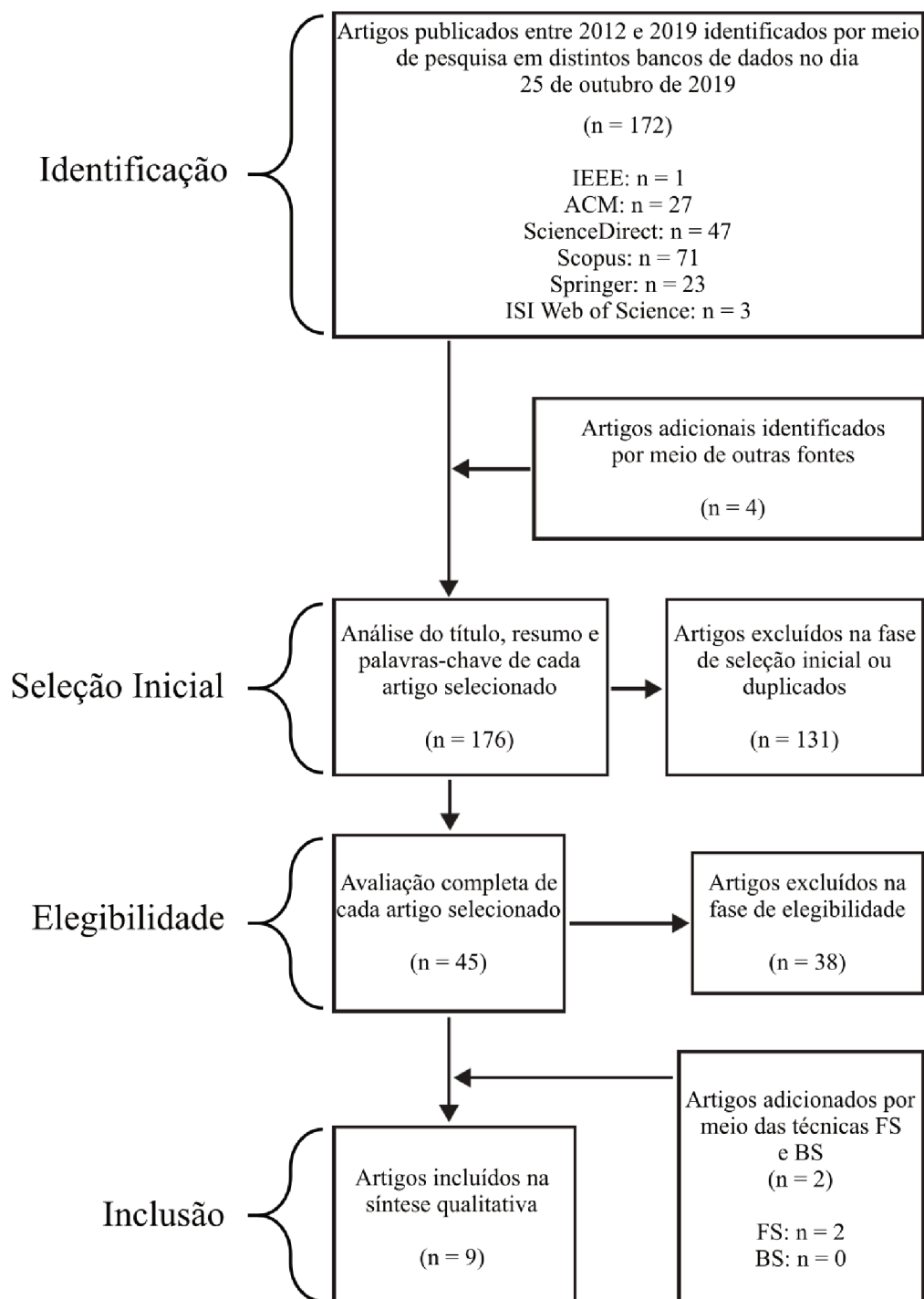
1. Em quais contextos os simuladores de evacuação hospitalar RV se tornam mais vantajosos do que as simulações práticas tradicionais?
  - Justificativa: Espera-se, com essa questão, identificar os cenários, situações e simulações nas quais o treinamento em RV pode ser implementado. Porém, não basta apenas implementar a RV, é fundamental que o resultado obtido por meio dessas aplicações seja, de alguma forma, superior aos resultados obtidos através de métodos tradicionais de treinamento.
2. Quais dispositivos geralmente são utilizados em simuladores RV para evacuação hospitalar?
  - Justificativa: Por meio dessa questão se espera identificar os dispositivos de entrada e saída de dados que foram ou estão sendo utilizados em outros estudos. Ademais, almeja-se verificar se os dispositivos atrelados à RV imersiva estão presente nesses estudos.
3. Quais funcionalidades o simulador RV deve possuir para elevar a retenção de conhecimento do usuário?
  - Justificativa: Através dessa questão é esperado identificar funcionalidades implementadas em outros estudos que, comprovadamente, representaram uma melhoria na retenção de conhecimento.

### **3.3 Etapas da Revisão Sistemática**

O processo de RS conduzido neste trabalho pode ser dividido em quatro etapas: identificação, seleção inicial, elegibilidade e inclusão. A Figura 13 apresenta, resumidamente, a quantidade de estudos remanescentes, adicionados ou excluídos em cada uma dessas fases. É importante ressaltar que cada etapa dessa Figura será detalhada na sua respectiva subseção.



Figura 13 – Etapas da revisão sistemática.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

### 3.3.1 Identificação

Inicialmente, após uma breve revisão informal da literatura, foi possível identificar as principais palavras-chave e seus sinônimos que estão diretamente relacionados com o tema do presente projeto. Assim sendo, o termo de busca foi criado e utilizado em cada uma das bases bibliográficas analisadas, assim como retratado na Tabela 5. Devido às particularidades de cada base bibliográfica, pequenas mudanças podem ter sido introduzidas no termo de busca. Ademais, devido à complexidade desse termo, optou-se por buscar as palavras-chave ao longo de todo o texto. Desta forma, 172 trabalhos foram identificados por meio dessa pesquisa avançada e quatro trabalhos foram encontrados, manualmente, em outras bases bibliográfica, totalizando 176 trabalhos.

### 3.3.2 Seleção Inicial

Tanto na fase de Seleção Inicial quanto na fase de Elegibilidade, a inclusão ou exclusão de um trabalho foi realizada utilizando os critérios de inclusão e exclusão como referência (Tabela 6). Durante a fase de Seleção Inicial, apenas o título, resumo e palavras-chave foram analisados utilizando os critérios da Tabela 6 como referência. Após análise de todos os trabalhos, 131 resultados foram excluídos devido a um ou mais critérios de exclusão e 45 artigos primários foram encaminhados para a fase de Elegibilidade.

### 3.3.3 Elegibilidade

Na fase de Elegibilidade, os critérios de inclusão e exclusão (Tabela 6) foram aplicados ao longo de todo texto nos 45 trabalhos remanescentes. Ademais, caso nenhum critério de exclusão fosse identificado, procurou-se identificar qual ou quais QP poderiam ser respondidas com aquele trabalho, sendo imprescindível que pelo menos uma QP fosse respondida. Ao término da análise de todos os trabalhos, restaram sete artigos.

Tabela 5 – Termo de busca utilizado na pesquisa avançada.

Bases Bibliográficas	Termo de Busca
IEEE ACM ScienceDirect Scopus Springer ISI Web of Science	((“virtual reality” OR “immersive virtual environment”) AND (evacuation OR “exit choice” OR “emergency management”) AND (fire OR smoke) AND (hospital OR “operation room” OR “emergency room” OR clinic OR asylum) AND (training OR drill OR simulation))

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Tabela 6 – Critérios de inclusão e exclusão.

<b>Critério</b>	<b>ID</b>	<b>Descrição</b>
Inclusão	CI.1	Artigos publicados a partir de 2012
	CI.2	Artigos que abordam o AV focado no treinamento de evacuação
	CI.3	Artigos que abordam a evacuação em EAS
Exclusão	CE.1	Artigos que abordam a evacuação em ambientes que não sejam um EAS
	CE.2	Artigos que abordam apenas o treinamento de evacuação tradicional sem nenhum tipo de comparação com o treinamento em RV
	CE.3	Estudos não primários, tais como: livros, resumos, teses e dissertações
	CE.4	Artigos escritos em outra língua que não seja o inglês
	CE.5	Artigos duplicados

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

### 3.3.4 Inclusão

Por fim, com o intuito de encontrar trabalhos pertinentes não identificados durante a fase de Identificação, os sete trabalhos remanescentes tiveram suas referências analisadas. Duas técnicas de RS foram utilizadas: *Forward Snowballing* (FS) e *Backward Snowballing* (BS). A primeira consiste em identificar novos trabalhos que mencionam, em suas referências, um dos sete trabalhos já selecionados. A segunda consiste em analisar, individualmente, cada uma das referências desses sete trabalhos, podendo encontrar um novo resultado que esteja relacionado ao tema da RS e ainda não tenha sido identificado (WOHLIN, 2014). Ao término dessas duas técnicas, dois novos trabalhos foram identificados pela técnica FS, totalizando nove artigos incluídos.

## 3.4 Resultados

Durante a segunda fase da RS (Seleção Inicial), duas RS relacionadas ao tema do presente projeto foram identificadas (FENG et al., 2018; FARRA; MILLER, 2012). Em ambos os casos, a utilização da RV foi considerada uma alternativa para o treinamento tradicional. Em particular, Farra e Miller (2012) analisaram estudos que abordavam a utilização da RV em treinamentos. Através destes estudos, foi possível constatar que a retenção de conhecimento era igual ou melhor quando se utilizava a RV ao invés dos métodos tradicionais. Além disso, a RS de Farra e Miller (2012) analisou trabalhos, publicados entre os anos de 2005 e 2012, nos quais profissionais médicos treinavam, através da RV, para agirem diante de um desastre ou catástrofe em diversos cenários. Por fim, a dificuldade para se reproduzir um simulador virtual realista foi apontada, em alguns trabalhos, como aspecto negativo do treinamento RV. A RS de Feng et al. (2018), por sua vez, abordou o treinamento de evacuação em ambientes internos através da utilização da RV. Nesse caso, foram analisados trabalhos publicados até 2018, buscando identificar a relação existente entre jogo e mundo real, objetivos da

simulação e jogabilidade. Assim como no trabalho anterior, Feng et al. (2018) constataram um ganho no que se refere à retenção de conhecimento após utilização do simulador RV.

Diferentemente da RS realizada por Farra e Miller (2012), a RS desenvolvida para o presente projeto considerou trabalhos publicados entre os anos de 2012 e 2020, o que possibilitou a identificação de trabalhos mais recentes. Além disso, a RS realizada por Feng et al. (2018) não considerou simuladores que utilizam *displays* convencionais como forma de visualização, assim como ocorre na RV semi imersiva. Vale ressaltar, ainda, o fato de que o ambiente hospitalar não foi o foco principal do trabalho realizado por Feng et al. (2018). Justamente por isso, optou-se pela realização de uma nova RS ao invés de se utilizar uma das RS encontradas. Assim sendo, nas próximas subseções, cada QP será abordada relacionando-a aos artigos identificados na fase de Inclusão.

### **3.4.1 QP1 - Em quais contextos os simuladores de evacuação hospitalar RV se tornam mais vantajosos do que as simulações práticas tradicionais?**

A realização de treinamentos em simuladores RV acaba sendo, a longo prazo, mais econômico do que a realização de treinamentos tradicionais. Inicialmente, é necessário fazer um grande investimento financeiro para criar o AV, desenvolver todas as funcionalidades do simulador e adquirir os equipamentos necessários para realização do treinamento. No entanto, o mesmo simulador pode ser utilizado inúmeras vezes ao longo dos anos, com pouco ou nenhum investimento. Em contrapartida, para cada treinamento tradicional realizado é necessário despender a mesma quantia financeira. Além disso, à medida que se aumenta o número de funcionários no treinamento, aumenta-se, proporcionalmente, o investimento necessário, seja para custear os profissionais que serão treinados ou os profissionais que irão observar o treinamento (FARRA et al., 2019b).

Além do fator econômico, a utilização da RV possibilita o desenvolvimento de inúmeros cenários que podem reproduzir diferentes treinamentos. Assim, distintos profissionais poderão utilizar essas simulações para colocar em prática o conhecimento teórico adquirido (RAHOUTI et al., 2017). Caso o AV apresente elevado nível de realismo, é possível que o usuário se sinta imerso nesse ambiente (FARRA et al., 2019a; FENG et al., 2020; FENG et al., 2020; LIU et al., 2018; LOVREGLIO et al., 2018; LU et al., 2020). Além da imersão percebida pelo usuário, é possível introduzir elementos virtuais como fogo e fumaça. A adição destes elementos não é aconselhada em um treinamento tradicional, visto que podem representar um risco ao ambiente e aos usuários deste ambiente (RAHOUTI et al., 2017; LIU et al., 2018; LU et al., 2020).

Por fim, não só fogo e fumaça virtuais podem ser introduzidos na aplicação, qualquer situação perigosa e complexa pode ser desenvolvida e aplicada no mundo virtual com o intuito de simular uma situação do mundo real (FARRA et al., 2019b; SILVA et al., 2013).

Outra vantagem do treinamento RV em relação ao treinamento tradicional reside na alteração da rotina de funcionamento do hospital. No caso do treinamento tradicional, além da necessidade de alocar um espaço físico para realização do treinamento, é necessário reservar duas equipes, uma para treinar e outra para observar. Justamente por isso, a rotina hospitalar é impactada diretamente nesse tipo de treinamento. O treinamento RV, por sua vez, não produz alteração significativa na rotina hospitalar, ou seja, esse treinamento pode ocorrer de forma assíncrona (FARRA et al., 2019b; RAHOUTI et al., 2017; FARRA et al., 2019a; SILVA et al., 2013). A união do impacto na rotina hospitalar associado ao alto custo de realização dessa forma de treinamento, faz com que os treinamentos práticos tradicionais sejam realizados poucas vezes ao longo do ano (FARRA et al., 2019a). Ademais, apenas uma pequena parcela dos profissionais da saúde participam desse tipo de treinamento (FARRA et al., 2019b). Em contrapartida, os treinamentos RV podem ser realizados assincronamente por todos os profissionais da saúde inúmeras vezes ao longo do ano, sem interferir significativamente na rotina hospitalar.

Por fim, durante o desenvolvimento de um jogo sério, algumas funcionalidades podem ser introduzidas para captar e armazenar, em tempo real, informações pertinentes ao treinamento do usuário (FARRA et al., 2019a; FENG et al., 2020; FENG et al., 2020; LOVREGLIO et al., 2018; SILVA et al., 2013). Tais informações podem ser utilizadas, por exemplo, para verificar se as rotas de emergência foram planejadas corretamente (FARRA et al., 2019a). Em um treinamento tradicional, observar e armazenar esse tipo de informação não é uma tarefa trivial, o que reforça a vantagem do treinamento RV em relação ao treinamento tradicional.

### **3.4.2 QP2 - Quais dispositivos geralmente são utilizados em simuladores RV para evacuação hospitalar?**

Dentre os artigos analisados, foi identificado apenas duas opções de dispositivos de interação: HMD associado a um controle ou monitor convencional associado ao *mouse* e teclado. Em apenas dois artigos o usuário podia escolher qual dispositivo de interação desejava utilizar. Caso apresentasse algum problema com a utilização daquele dispositivo, poderia alterar para o outro dispositivo e continuar o treinamento (FARRA et al., 2019b; FARRA et al., 2019a). Três trabalhos utilizaram apenas a opção do HMD associando a um controle. Vale ressaltar que nesses casos o usuário se encontrava sentado em uma cadeira giratória fixada sob uma plataforma capaz de

vibrar e, conseqüentemente, simular um terremoto (FENG et al., 2020; FENG et al., 2020; LOVREGLIO et al., 2018). Três estudos utilizaram os dispositivos de interação mais tradicionais, monitor convencional associado ao *mouse* e teclado (RAHOUTI et al., 2017; LU et al., 2020; SILVA et al., 2013). Cinco estudos utilizaram HMD para produzir um simulador RV imersivo. No entanto, em quatro desses estudos foi relatado a ocorrência de *motion sickness* nos usuários (FARRA et al., 2019a; FENG et al., 2020; FENG et al., 2020; LOVREGLIO et al., 2018). Em apenas um estudo não foi possível identificar com certeza qual dispositivo de interação estava sendo utilizado (LIU et al., 2018).

### 3.4.3 QP3 - Quais funcionalidades o simulador RV deve possuir para elevar a retenção de conhecimento do usuário?

Dentre as funcionalidades que podem contribuir com a retenção de conhecimento, quatro estudos apontam o fornecimento de *feedback* como possível solução. Alguns estudos mencionam o fornecimento de *feedback* imediato (RAHOUTI et al., 2017; FARRA et al., 2019a; FENG et al., 2020; SILVA et al., 2013). Neste tipo de abordagem, quando o usuário realiza uma ação que coloca em risco a vida do seu personagem virtual, uma mensagem instantânea, seja por meio de texto ou som, é fornecida para alertar o usuário de que aquela ação não é adequada. Por exemplo, quando o personagem virtual adentra em um ambiente repleto por fumaça, é possível ouvi-lo tossindo; quando o personagem chega muito próximo ao incêndio é possível ouvi-lo gritando.

Além do *feedback* imediato, alguns estudos apontam para outro tipo de *feedback* como forma de elevar a retenção de conhecimento. Nesse caso, após o término da simulação, o usuário consegue visualizar o resultado obtido durante seu treinamento. Em alguns trabalhos, uma lista com todos as ações incorretas, realizadas durante a simulação, é fornecida ao usuário. Alguns estudos apontam o fornecimento de instruções e recomendações como forma de elevar a retenção de conhecimento (RAHOUTI et al., 2017; FARRA et al., 2019a; SILVA et al., 2013).

## 3.5 Trabalhos Correlatos

O presente projeto consiste no desenvolvimento inicial de uma aplicação virtual baseada em jogo sério voltado para o treinamento de evacuação hospitalar diante de um incêndio. Justamente por isso, o AV desenvolvido para essa aplicação almeja representar, virtualmente, um ambiente hospitalar real, assim como em outros trabalhos (LIU et al., 2018; SILVA et al., 2013; RAHOUTI et al., 2017; FENG et al., 2020; FARRA et al., 2019b; FARRA et al., 2019a; FENG et al., 2020; LOVREGLIO et al., 2018; LU et

al., 2020). Embora o ambiente hospitalar tenha sido abordado em todos os trabalhos selecionados, em apenas quatro estudos a temática do incêndio foi implementada na simulação (LU et al., 2020; LIU et al., 2018; RAHOUTI et al., 2017; SILVA et al., 2013). Destes quatro trabalhos, os dois primeiros abordam, principalmente, a temática do terremoto, o incêndio é representado como consequência desse desastre natural. Ou seja, dos nove trabalhos remanescentes na fase de Inclusão, apenas dois abordaram o treinamento de evacuação hospitalar diante de um incêndio.

Por se tratar de uma aplicação voltada para treinamento, o presente projeto almeja reproduzir, de forma suficientemente realista, fenômenos naturais que estão atrelados à temática do incêndio, como propagação do fogo e fumaça. De todos os trabalhos analisados, em nenhum foi abordado a propagação do incêndio ao longo de um objeto. Já a propagação da fumaça pelo AV foi retratada em apenas um estudo (LU et al., 2020). Além disso, a aplicação irá retratar a evacuação hospitalar durante o turno noturno, o que elevará a dificuldade da simulação. Justamente por isso, para que o usuário consiga abandonar o AV, é fundamental a existência de um sistema de emergência completo, com alarmes, sinalizações, luzes e saídas de emergência. Dentre os trabalhos selecionados, nenhum implementou o sistema de emergência completo. Nos trabalhos desenvolvido por Silva et al. (2013) e Rahouti et al. (2017) foi implementado funcionalidades para retratar alarmes, sinalizações e saídas de emergência. Porém, em ambos os trabalhos, as luzes de emergência não foram implementadas. Já no trabalho de Feng et al. (2020), foi introduzido apenas funcionalidades para retratar as sinalizações e saídas de emergência, ficando fora desse sistema alarmes e luzes de emergência.

O simulador de evacuação hospitalar, desenvolvido para este projeto, almeja ser utilizado como treinamento complementar ao treinamento tradicional existente hoje em dia. Desta forma, é fundamental que o usuário consiga reter informações pertinentes fornecidas durante a simulação. Espera-se, com essa abordagem, que o usuário se lembre desse treinamento virtual, diante de uma situação real, e consiga colocar em prática o que foi aprendido no mundo virtual. Assim sendo, foi identificado que o fornecimento de *feedback* é primordial para elevar a retenção de conhecimento e, consequentemente, fazer com que o usuário esteja mais preparado, em teoria, para lidar com uma situação real. Dentre os nove trabalhos analisados, quatro deles abordam o fornecimento de *feedback* durante a simulação (SILVA et al., 2013; RAHOUTI et al., 2017; FENG et al., 2020; FARRA et al., 2019a).

Por fim, em relação aos dispositivos de interação, seja para visualizar o AV ou interagir com os objetos virtuais, o presente projeto permite utilizar tanto o *Oculus Rift S* associado ao *Oculos Remote Controller* quanto monitor convencional associado ao *mouse* e teclado. Essa estratégia permite que o usuário escolha qual dispositivo prefere utilizar e, principalmente, permite que ele altere o dispositivo utilizado caso

sinta algum desconforto. Dentre os nove trabalhos selecionados, apenas dois optaram por utilizar a mesma estratégia do presente projeto, ou seja, realizar o treinamento utilizando um HMD ou monitor convencional (FARRA et al., 2019b; FARRA et al., 2019a).

A Tabela 7, retratada adiante, apresenta, de maneira sintetizada, os principais atributos utilizados para comparar os trabalhos selecionados e a aplicação desenvolvida. Dentre os atributos analisados, destacam-se: cenário hospitalar, propagação do incêndio, propagação da fumaça, sinalização de emergência, saída de emergência, iluminação de emergência, alarmes, *feedback*, motivo principal para evacuação e dispositivos de interação.



Tabela 7 – Comparação entre os trabalhos relacionados.

Trabalho	Cenário Hospitalar	Propagação do Incêndio	Propagação da Fumaça	Sinalização de Emergência	Saída de Emergência	Iluminação de Emergência	Alarmes	Feedback	Motivo da evacuação	Dispositivos de Interação
Liu et al. (2018)	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	T + I	-
Silva et al. (2013)	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✓	✓	I	MTM
Rahouti et al. (2017)	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✓	✓	I	MTM
Feng et al. (2020)	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	T	HMD
Farra et al. (2019b)	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	-	HMD + MTM
Farra et al. (2019a)	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	-	HMD + MTM
Feng et al. (2020)	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✗	✗	T	HMD
Lovreglio et al. (2018)	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	T	HMD
Lu et al. (2020)	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	T + I	MTM
Saint Martin (2021)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	I	HMD + MTM

T + I: Terremoto e incêndio;

T: Terremoto;

I: Incêndio;

MTM: Mouse, teclado e monitor convencional;

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

### 3.6 Considerações Finais

Devido a grande quantidade de estudos científicos produzidos nas últimas décadas, a realização de uma RS, antes de iniciar uma nova pesquisa, tornou-se fundamental. Durante a RS realizada para o presente projeto, duas outras RS foram identificadas, mas acabaram sendo descartadas pois não abordavam, de maneira completa, o treinamento virtual de evacuação hospitalar diante de um incêndio. Assim sendo, a RS teve continuidade e, posteriormente, foi dividida em quatro fases: Identificação, Seleção Inicial, Elegibilidade e Inclusão.

Ao término da primeira fase, 176 trabalhos foram identificados. Embora a quantidade seja expressiva, 131 resultados foram excluídos logo na segunda fase. Por fim, apenas nove trabalhos restaram na fase de Inclusão, sendo que desses nove trabalhos, apenas dois abordam a temática do treinamento de evacuação hospitalar diante de um incêndio. Desta forma, é possível concluir que esse tema ainda não é am-

plamente explorado, mesmo sendo recorrente os casos de incêndio hospitalar, tanto nacional quanto internacionalmente.

Dentre os nove trabalhos identificados na fase de Inclusão, nenhum abordou, simultaneamente, as temáticas de evacuação diante de incêndio, RV e ambiente hospitalar. Justamente por isso, optou-se por manter todos os trabalhos que abordaram o treinamento de evacuação hospitalar diante de uma ameaça de perigo iminente, seja através da RV imersiva ou semi imersiva.

Por fim, os trabalhos remanescentes foram analisados e comparados com a aplicação desenvolvida. Inicialmente, foi possível identificar as vantagens do treinamento RV em relação ao treinamento de evacuação tradicional. Nesse caso, destaca-se o custo inferior, a longo prazo, do treinamento RV, a possibilidade de reproduzir situações perigosas e a possibilidade de adicionar elementos gráficos que elevam a sensação de presença percebida pelo usuário. Ademais, foi constatado o fato de que usuários que treinaram em simuladores RV apresentaram melhor retenção de conhecimento, o que está relacionado com o engajamento do usuário durante esse tipo de treinamento e o fornecimento de *feedback* nos jogos sérios. Justamente por isso, visando elevar a retenção de conhecimento, o simulador desenvolvido para o presente projeto possui *feedback* imediato e *feedback* fornecido após o término da simulação. Além disso, funcionalidades para simular a propagação do incêndio e da fumaça, bem como o sistema de emergência completo, com alarmes, sinalização, saída e iluminação de emergência foram desenvolvidas.

---

## Desenvolvimento da Aplicação

O desenvolvimento do presente projeto se baseou na DSR como método de pesquisa, assim como mencionado no Capítulo 1. De acordo com Çağdaş e Stubkjær (2011), a DSR consiste em um processo rigoroso que tem como objetivo a criação de um artefato voltado para a resolução de um problema. No caso particular deste trabalho, esse problema está relacionado ao treinamento tradicional realizado atualmente para simular uma situação de evacuação hospitalar diante de um incêndio (subseção 3.4.1). No que tange a temática do incêndio hospitalar (Capítulo 3), foi possível identificar similaridades e diferenças entre os trabalhos correlatos identificados e a proposta para o presente projeto. Tais informações são fundamentais para guiar o desenvolvimento deste simulador e, conseqüentemente, auxiliar na solução do problema mencionado. Assim sendo, além dos *softwares* e *hardwares* utilizados, neste capítulo será descrito também as funcionalidades desenvolvidas para iniciar o desenvolvimento do jogo sério voltado para o treinamento de evacuação hospitalar diante de um incêndio.

### 4.1 *Softwares e Hardwares*

O AV desenvolvido para este jogo sério tem como objetivo simular o ambiente hospitalar real. Para isso, foi utilizado, inicialmente, uma planta *Computer-Aided Design* (CAD) e um arquivo *Building Information Modeling* (BIM) de um hospital real construído no Brasil. A princípio, procurou-se representar, com alto nível de fidelidade, todos os detalhes existentes na planta CAD e no arquivo BIM. No entanto, muitos detalhes, presentes nesses documentos, eram irrelevantes para o objetivo do presente projeto. Portanto, tanto a planta quanto o arquivo foram utilizados apenas como referência. Assim sendo, o ambiente hospitalar virtual foi alterado e simplificado, mas a semelhança com o ambiente hospitalar real foi mantida.

Para o desenvolvimento do simulador — criação dos AV, funcionalidades e intera-

ções com a aplicação — foi utilizado a *engine* de jogos *Unreal Engine 4* (UE4)<sup>1</sup>. Este *software* consiste em um motor gráfico com diversas ferramentas integradas desenvolvidas pela *Epic Games*<sup>2</sup> e voltadas para o desenvolvimento de jogos, animações, projetos arquitetônicos e simulações. Dentre todas as *engines* de jogos, a UE4 foi escolhida devido à capacidade de recriar um AV suficientemente realista, bem como renderizar todo o AV e iluminação em poucos segundos. Além disso, outro diferencial da UE4 reside na possibilidade de se utilizar duas linguagens de programação para desenvolver a aplicação, C++ ou uma linguagem de *script* (*Blueprints*). Esta utiliza uma interface para realizar a comunicação entre nós e criar todas as funcionalidades da aplicação (SHANNON, 2017).

Embora a estrutura básica do ambiente hospitalar tenha sido construída diretamente na UE4, para o desenvolvimento dos objetos virtuais foi necessário outro *software*. Assim sendo, a modelagem 3D de todos os objetos virtuais foi realizada utilizando o *software Blender*<sup>3</sup>. Além deste *software* ser *Open-Source*, ainda é simples e muito poderoso. Para tornar cada objeto modelado mais realista, foi necessário aplicar uma textura. Para isso, duas abordagens foram utilizadas: criação manual da textura utilizando o *software GNU Image Manipulation Program* (GIMP)<sup>4</sup> ou *download* da textura pronta a partir do site *Quixel Megascans*<sup>5</sup>. É importante ressaltar que o *Quixel Megascans* foi adquirido recentemente pela *Epic Games*; todas texturas disponíveis podem ser utilizadas gratuitamente em projetos desenvolvidos na UE4.

Após a modelagem e adição de textura, todos objetos foram importados na UE4 e posicionados no AV, concluindo, assim, a etapa de desenvolvimento do ambiente hospitalar. Posteriormente, o personagem virtual foi desenvolvido utilizando o *software MakeHuman*<sup>6</sup>. Além deste *software* permitir a criação de personagens virtuais, ainda disponibiliza funcionalidades para deixar o personagem mais realista, como adição de roupas e outros acessórios. Em seguida, o personagem virtual foi exportado para o *Blender*, onde pequenos ajustes foram realizados. Por fim, o *software Mixamo*<sup>7</sup> foi utilizada para criar animações de movimentação para o personagem virtual. Inicialmente, o personagem foi desenvolvido para ser utilizado em terceira pessoa (*Third-Person*). Porém, para elevar a sensação de presença, percebida pelo usuário, e o engajamento durante a simulação, alguns ajustes foram realizados, na própria UE4, para converter o personagem virtual em terceira pessoa para primeira pessoa (*First-Person*).

No que se refere aos *hardwares* utilizados, a visualização e interação com o AV pode ocorrer através da utilização tanto de um monitor convencional, atrelado ao

<sup>1</sup> <https://www.unrealengine.com/en-US/>

<sup>2</sup> <https://www.epicgames.com/store/pt-BR/>

<sup>3</sup> <https://www.blender.org/>

<sup>4</sup> <https://www.gimp.org/>

<sup>5</sup> <https://quixel.com/megascans/>

<sup>6</sup> <http://www.makehumancommunity.org/>

<sup>7</sup> <https://www.mixamo.com/#/>

mouse e teclado, quanto de um HMD e seus controles. Neste último caso, foi utilizado o *Oculus Rift S* e o *Oculus Remote Controller*.

## 4.2 Principais Componentes do Jogo Sério

A simulação desenvolvida para este projeto almeja retratar a evacuação hospitalar diante de um incêndio. O ambiente hospitalar foi selecionado devido à diversidade e complexidade existente nesse cenário (seção 2.4). A temática do incêndio, por sua vez, foi selecionada devido à recorrência desse sinistro em EAS e a gravidade associada a essa emergência (seção 2.3). Embora o ambiente hospitalar seja complexo e permita realizar diversas simulações, o protótipo desenvolvido neste projeto tem o intuito de retratar, exclusivamente, a evacuação do ambiente hospitalar diante de um incêndio. Independentemente do objetivo da simulação, é fundamental que o ambiente hospitalar virtual seja semelhante ao ambiente hospitalar real. Assim, espera-se que a imersão percebida pelo usuário seja suficiente para elevar seu engajamento e a sua concentração durante a simulação. Além disso, para que a aplicação seja utilizada como treinamento, é primordial que os fenômenos retratados na simulação estejam o mais próximo possível da realidade. Assim sendo, o protótipo está fundamentado em quatro pilares principais: objetos hospitalares virtuais, sistema de emergência, propagação do incêndio e propagação da fumaça.

### 4.2.1 Objetos Hospitalares Virtuais

Para que os usuários da aplicação tenham a impressão de estar imersos em um ambiente hospitalar, é fundamental que os objetos virtuais, presentes nesse ambiente, sejam comuns em EAS. A Figura 14 apresenta alguns desses objetos virtuais. Dentre eles, os mais comuns em EAS são: maca hospitalar (Figura 14d), painel de serviço hospitalar (Figura 14e), suporte para soro (Figura 14g), biombo móvel (Figura 14i) e carro de emergência (Figura 14a).

Figura 14 – Objetos virtuais presentes no cenário hospitalar.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

## 4.2.2 Sistema de Emergência

A aplicação desenvolvida almeja ser utilizada como forma de treinamento de evacuação hospitalar diante de um incêndio. Justamente por isso, é primordial que o usuário seja capaz de abandonar a edificação sem conhecer o ambiente hospitalar virtual. Um conjunto mínimo de funcionalidades foi desenvolvido para criar um sis-



tema de emergência completo e auxiliar o usuário na evacuação do EAS. Esse sistema de emergência pode ser fragmentado em quatro componentes principais: luzes de emergência, sinalização fotoluminescente, saída de emergência e alarmes (visual e sonoro). Além de auxiliar o usuário evacuar a edificação, a junção desses quatro componentes é fundamental para elevar a sensação de presença e retratar a gravidade associada ao incêndio. A Figura 15 apresenta um dos componentes que compõe o sistema de emergência, a sinalização fotoluminescente. Por meio da Figura 15 é possível visualizar a sinalização de emergência em duas condições: (1) condição normal (Figura 15a) e (2) condição fotoluminescente, ou seja, na ausência de luz (Figura 15b). A Figura 16, por sua vez, retrata a iluminação de emergência em duas situações: (1) iluminação de emergência desligada (Figura 16a) e (2) iluminação de emergência ligada (Figura 16b). Finalmente, a Figura 17 apresenta o alarme visual em duas situações: (1) alarme inativo (Figura 17a) e alarme ativo (Figura 17b).

Figura 15 – Sinalização de emergência desenvolvida para o jogo sério.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Figura 16 – Iluminação de emergência desenvolvida para o jogo sério.

(a) Iluminação de emergência desligada



(b) Iluminação de emergência ligada



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

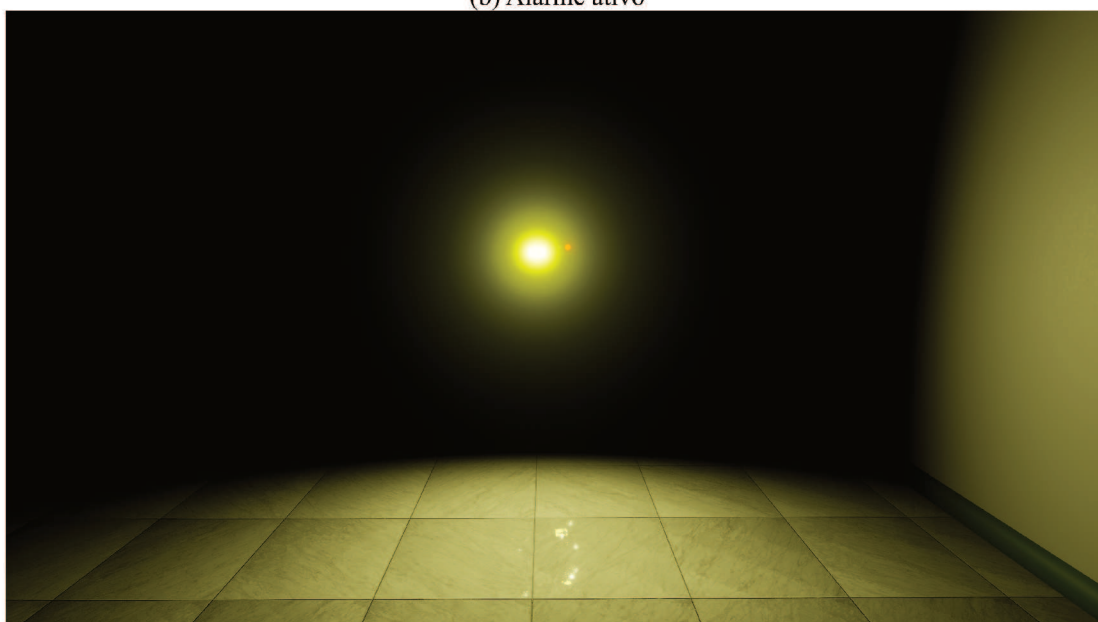


Figura 17 – Alarme de emergência.

(a) Alarme inativo



(b) Alarme ativo



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

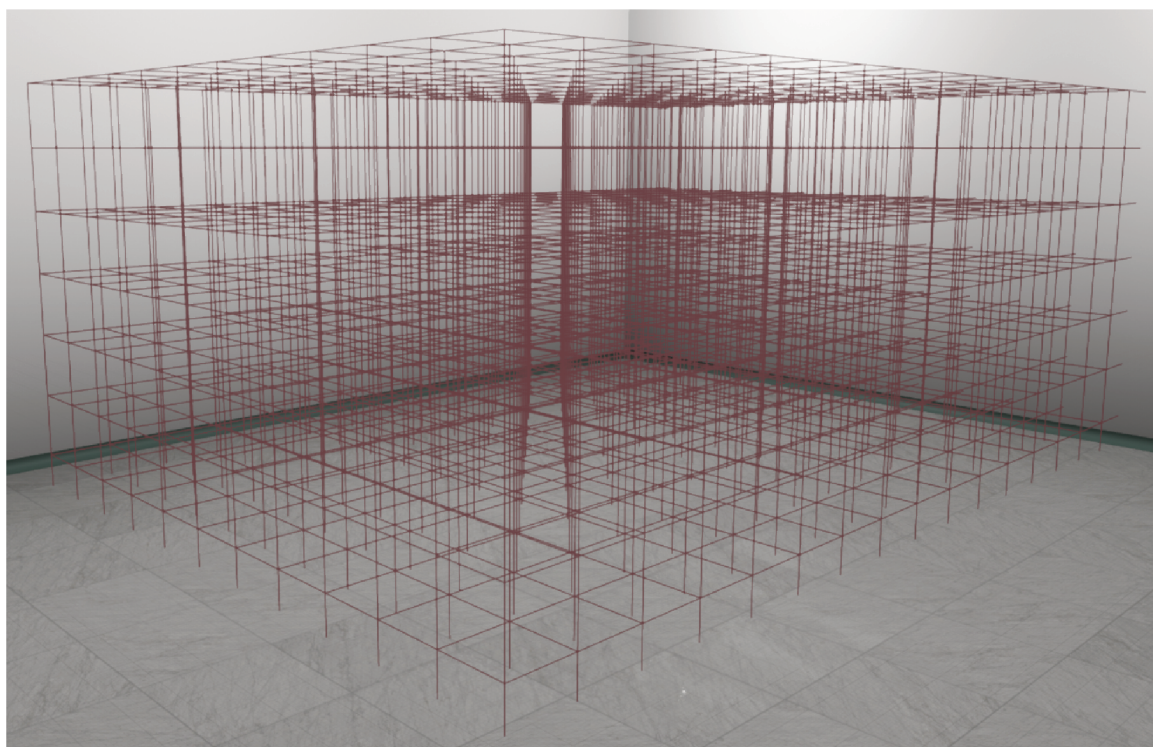
### 4.2.3 Propagação do Incêndio

Para elevar o realismo da simulação, o incêndio virtual deve simular características de um incêndio real e a fumaça virtual deve se comportar como uma fumaça real. No mundo real, além do incêndio danificar o objeto que está queimando, o fogo se propaga pelo ambiente. A fumaça em ambiente interno, por sua vez, tende a se propagar pelo ambiente, preenchendo-o com fumaça e interferindo na visibilidade desse recinto. Com o intuito de reproduzir virtualmente ambos os fenômenos, foi utilizado, como referência, a estratégia desenvolvida por Jean-Francois Lévesque no jogo *Far-Cry* (LÉVESQUE, 2012).

Além desta estratégia não depender de cálculos físicos e matemáticos complicados, ainda não considera a dinâmica dos fluidos, o que contribui para não sobrecarregar a simulação e *hardwares* utilizados. A propagação do incêndio ocorre graças à uma grade igualmente espaçada (*Grid*), na qual cada célula que compõe a grade possui três propriedades principais: posição no espaço, raio de propagação e pontos de “vida” (*hitpoints*). O algoritmo desenvolvido por Lévesque (2012) é capaz de identificar, durante a simulação, as células do *Grid* que estão colidindo com o objeto, removendo as demais células. Cada célula remanescente é capaz de identificar danos sofridos, seja por meio do usuário ou de uma funcionalidade automática, reduzindo os seus “pontos” de vida. Após atingirem um valor mínimo, inicia-se o incêndio na célula. Esta, enquanto estiver pegando fogo, é capaz de gerar danos nas células ao seu redor de acordo com o raio de propagação.

Para o presente projeto, a estratégia criada foi desenvolvida sem considerar: (1) cálculos físicos e matemáticos complicados, (2) dinâmica dos fluidos e (3) eventos externos (como influência do vento). As células do *Grid* possuem as mesmas dimensões, tanto na largura, altura e comprimento, o que faz com que cada célula seja um cubo e a união de todas elas seja um grande retângulo (*Grid-Box*) (Figura 18), visto que é possível selecionar a quantidade de cubos tanto no sentido horizontal quanto vertical. Cada um desses cubos apresenta apenas duas propriedades fundamentais: posição no espaço e raio de propagação. O algoritmo desenvolvido também é capaz de identificar a colisão com os objetos virtuais, mas o foco do incêndio é selecionado, automaticamente, pelo sistema. Além disso, a propagação das chamas não considera os pontos de “vida” da célula e sim um tempo previamente determinado.

A estratégia do *Grid-Box* foi adaptada para que fosse possível propagar o incêndio ao longo do material inflamável presente no objeto e, simultaneamente, provocar um dano visível, elevando, assim, o realismo da simulação. Para alcançar esse objetivo, ao iniciar a simulação, cada cubo presente no *Grid-Box* identifica, individualmente, se há ou não colisão com a parte inflamável do objeto virtual. Caso a colisão não ocorra, o cubo é removido do *Grid-Box*. Ao final da análise, restará apenas os cubos que de fato estão colidindo com o objeto, criando, assim, um contorno para esse

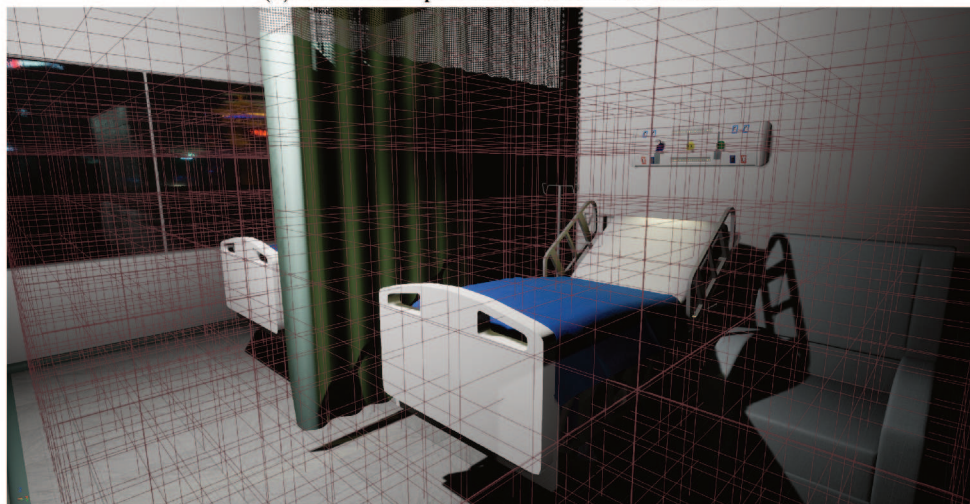
Figura 18 – Representação do *Grid-Box* no AV.

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

objeto. A Figura 19a retrata, na prática, a utilização do *Grid-Box* no cenário hospitalar virtual. O incêndio hospitalar tem início em uma das macas hospitalares. Neste objeto virtual, apenas o colchão e o cobertor são inflamáveis, os demais componentes são metálicos e não inflamáveis (Figura 19b). Justamente por isso, durante a verificação das colisões, permanecem no *Grid-Box* apenas os cubos que estão colidindo com o colchão e cobertor (Figura 19c).

Figura 19 – Utilização do *Grid-Box* para propagar o incêndio através das partes inflamáveis da maca hospitalar.

(a) *Grid-Box* aplicado no ambiente virtual



(b) Partes inflamáveis da maca hospitalar



(c) Cubos remanescentes no *Grid-Box* após todas verificações

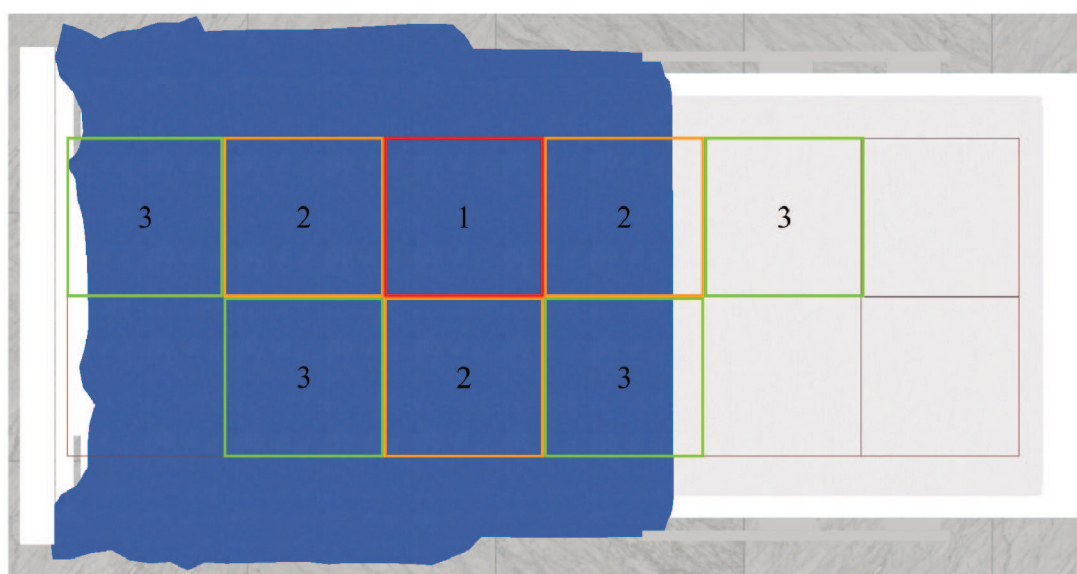


Fonte: Elaborado pelo autor (2021)



Após remover os cubos do *Grid-Box* que não estão colidindo com a parte inflamável do objeto virtual, é adicionado, em cada cubo remanescente, um componente virtual composto por: (1) uma partícula de incêndio, (2) uma partícula de fumaça, (3) um adesivo (*decal*) para simular o dano no objeto e (4) um emissor de som para reproduzir o som do objeto queimando. Posteriormente, o algoritmo desenvolvido escolhe, de maneira aleatória, um desses cubos para iniciar o incêndio. A partícula do incêndio se inicia com um tamanho reduzido e vai aumentando gradativamente com o passar do tempo. O mesmo ocorre com o *decal* que almeja simular a destruição do objeto, inicia-se com tamanho reduzido e vai aumentando gradativamente sua escala. Quando o incêndio atinge a escala máxima, previamente estabelecida, o algoritmo identifica quais cubos do *Grid-Box* são “vizinhos direto”, ou seja, estão colidindo com o cubo que já se encontra em chamas. Assim, o algoritmo reinicia o ciclo, propagando tanto o incêndio quanto a destruição ao longo do objeto virtual. A Figura 20 demonstra, de forma aleatória, como ocorre a propagação do incêndio. Considerando que o incêndio se inicia no cubo vermelho (cubo com o número 1 presente na Figura 20), quando a escala máxima é atingida o cubo vermelho identifica quais cubos são seus “vizinhos direto”, ou seja, os cubos na cor laranja (cubos com o número 2 presentes na Figura 20), propagando o incêndio para esses cubos. Quando os cubos laranja atingem a escala máxima, cada cubo laranja identifica, individualmente, os seus “vizinhos direto” e propaga o incêndio para esses cubos (cubos com o número 3 presentes na Figura 20).

Figura 20 – Ordem de propagação do incêndio para um caso aleatório.

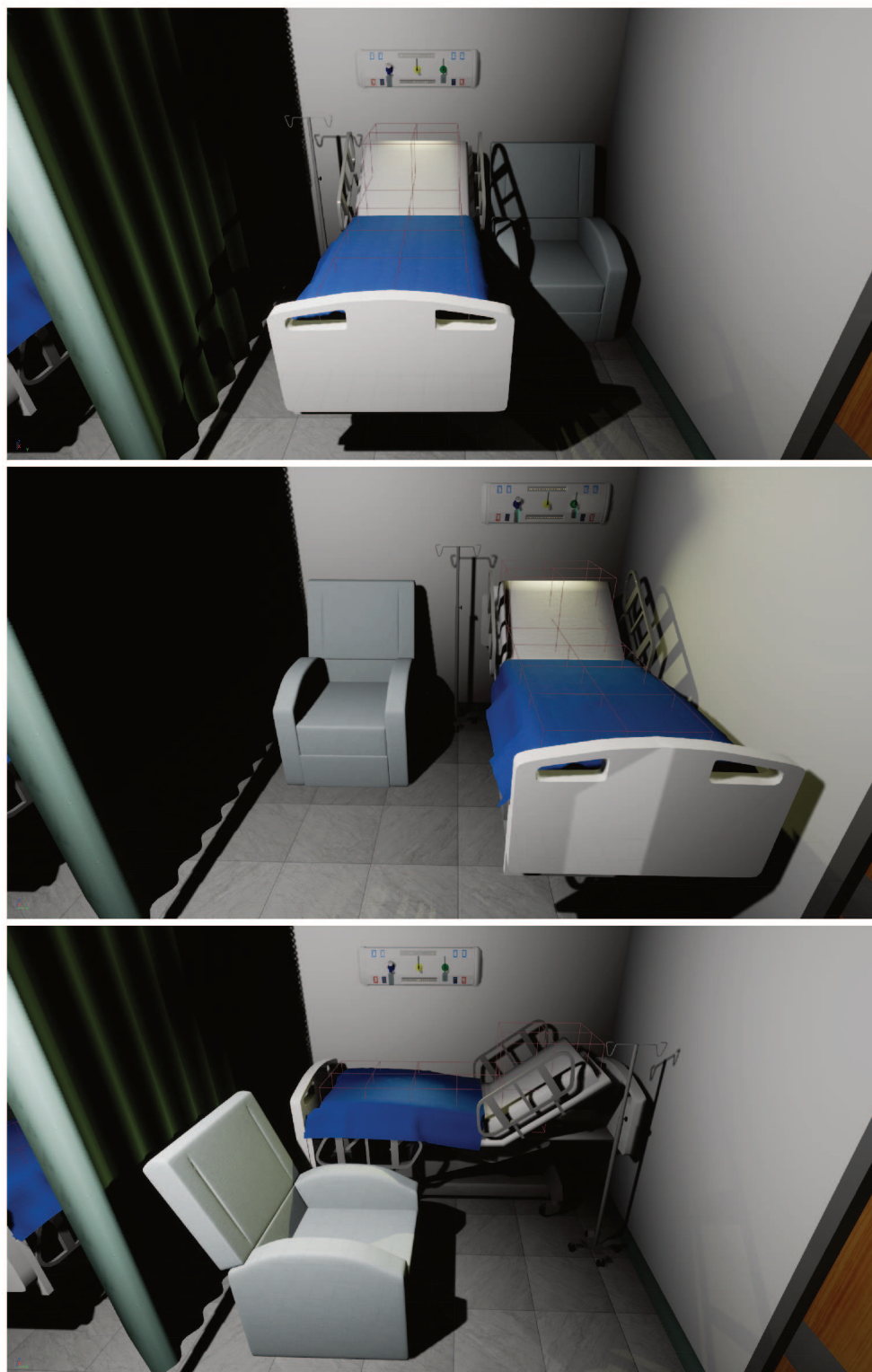


Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

A estratégia do *Grid-Box* é pertinente em aplicações que almejam ser utilizadas

como simuladores. Em primeiro lugar, é possível realizar o mesmo treinamento várias vezes com um certo grau de aleatoriedade. No caso deste simulador, a cada nova simulação o incêndio poderá se iniciar em um cubo diferente do *Grid-Box*. Em segundo lugar, a posição do objeto virtual que será queimado pode ser alterada sem comprometer a propagação do incêndio. Desde que o objeto permaneça dentro dos limites máximos do *Grid-Box* (determinado pela quantidade de cubos presentes no sentido horizontal e vertical), é possível movimentá-lo sem realizar nenhum ajuste. A Figura 21 apresenta a maca hospitalar e o *Grid-Box* resultante em três posições distintas. Em terceiro lugar, é possível alterar facilmente quais objetos do AV podem ser reconhecidos pelo *Grid-Box*. Na Figura 22a apenas a maca hospitalar é identificada pelo *Grid-Box*. Já na Figura 22b, além da maca hospitalar a poltrona de espera também é identificada pelo *Grid-Box*.

Figura 21 – Objeto virtual em distintas posições sem movimentar o *Grid-Box*.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

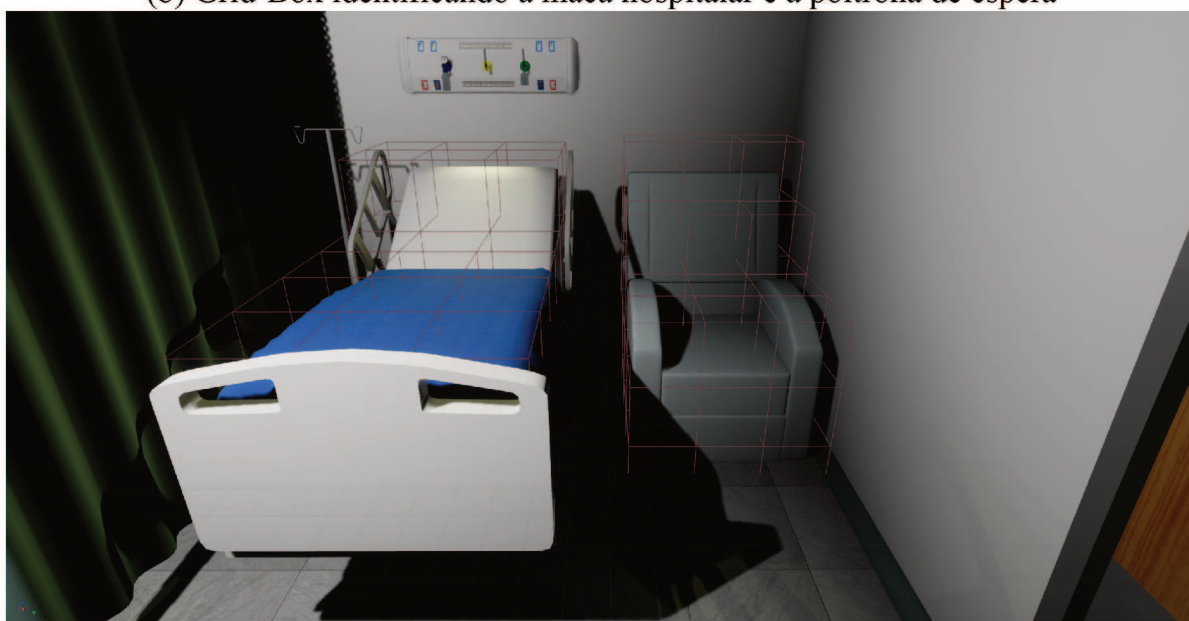


Figura 22 – Identificação de objetos pelo *Grid-Box*.

(a) *Grid-Box* identificando apenas a maca hospitalar



(b) *Grid-Box* identificando a maca hospitalar e a poltrona de espera

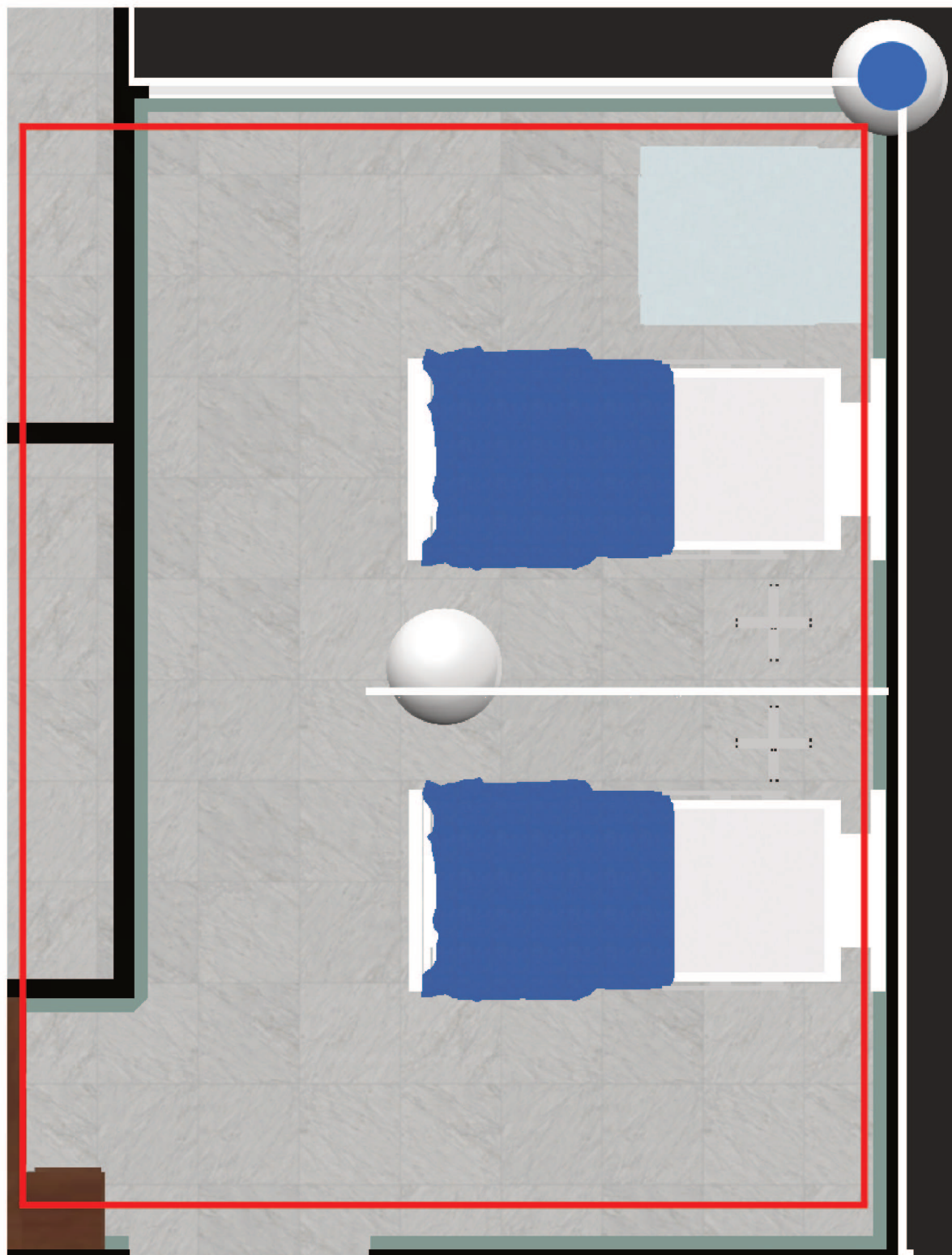


Fonte: Elaborado pelo autor (2021)



#### 4.2.4 Propagação da Fumaça

Assim como na subseção 4.2.3 (Propagação do Incêndio), a propagação da fumaça também foi desenvolvida utilizando a estratégia do *Grid-Box*. Diferentemente da abordagem anterior, nessa nova abordagem o *Grid-Box* é composto por esferas e não cubos. Além disso, é necessário informar a área onde ocorrerá a propagação da fumaça e, posteriormente, posicionar o *Grid-Box* em um dos quatro cantos superiores dessa área. Desta forma, o *Grid-Box* da fumaça consegue identificar os limites máximos de propagação. Caso essa área não fosse informada, a fumaça iria se propagar de maneira incorreta, atravessando objetos sólidos, como, por exemplo, a parede do hospital virtual. Na Figura 23 é possível visualizar uma das áreas pré-determinadas onde ocorrerá a propagação da fumaça (retângulo vermelho da Figura 23) e o local onde o *Grid-Box* foi posicionado (esfera azul da Figura 23).

Figura 23 – Área de propagação da fumaça e posicionamento do *Grid-Box*.

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Ao iniciar a simulação, o *Grid-Box* identifica quais esferas estão fora da área de propagação e as remove. Em seguida, é adicionado, em cada esfera remanescente, um componente virtual composto, apenas, por uma partícula de fumaça. Quando o incêndio se inicia, o algoritmo desenvolvido identifica a esfera do *Grid-Box* que se encontra mais próxima do incêndio. Na Figura 24 está retratado um exemplo, com apenas uma coluna, do *Grid-Box* da fumaça. Através desse exemplo é possível visualizar a esfera mais próxima do objeto que será queimado, ou seja, a esfera do “primeiro andar” (Figura 24a). No entanto, em uma situação real com incêndio em ambiente fechado, o calor das chamas empurra a fumaça para cima, fazendo com que a propagação ocorra de cima para baixo. Justamente por isso, após identificar a esfera mais próxima do incêndio e, conseqüentemente a coluna a qual essa esfera faz parte, o algoritmo da aplicação encontra a esfera dessa coluna mais distante do incêndio (Figura 24b).

Após identificar a esfera mais distante do incêndio, o algoritmo inicia a propagação da fumaça. Gradativamente, a densidade da partícula de fumaça dessa esfera é elevada. Quando a densidade da fumaça atinge o valor máximo, determinado previamente, o algoritmo identifica as “esferas vizinhas” (similar ao que ocorre na propagação do incêndio (Figura 20)). Em seguida, a densidade da fumaça de cada “esfera vizinha” começa a ser elevada gradativamente, reiniciando o ciclo e, conseqüentemente, propagando a fumaça pelo AV.

Figura 24 – Esfera do *Grid-Box* mais próxima e mais distante da maca hospitalar.

(a) Esfera mais próxima da maca hospitalar



(b) Esfera mais distante da maca hospitalar



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

### 4.3 Considerações Finais

A DSR tem como objetivo a criação de um artefato voltado para a resolução de um problema. Justamente por isso, o presente projeto utilizou o método da DSR para criar um jogo sério voltado para o treinamento de evacuação hospitalar diante de um incêndio. Assim, espera-se que esse jogo sério seja utilizado como forma de treinamento complementar. Ademais, espera-se que os profissionais médicos, diante de uma situação real, lembrem do treinamento virtual e coloquem em prática tudo aquilo que foi aprendido através do simulador. Assim, a dificuldade de se realizar um treinamento de evacuação, que permita elevada retenção de conhecimento e, simultaneamente, mantenha o usuário engajado, poderia ser solucionada.

Justamente por isso, para que a simulação seja utilizada como treinamento, possibilite a retenção do conhecimento e mantenha o usuário engajado é fundamental que a aplicação seja suficientemente realista. Para isso, o desenvolvimento da aplicação foi fundamentado em quatro pilares principais: objetos hospitalares virtuais, sistema de emergência, propagação do incêndio e propagação da fumaça. Tanto na propagação do incêndio quanto na propagação da fumaça foi utilizado a estratégia do *Grid-Box*. Através dessa abordagem é possível: (1) realizar o mesmo treinamento com um grau de aleatoriedade, (2) alterar a posição do objeto sem comprometer a propagação do incêndio ou fumaça e (3) alterar quais objetos serão ou não identificados pelo *Grid-Box*.

---

## Demonstração da Aplicação

Neste capítulo além do AV desenvolvido será apresentado a narrativa da simulação, ou seja, como se inicia o treinamento, quais os principais objetivos e o que é necessário para concluir a simulação.

### 5.1 Apresentação do Ambiente Virtual

Um dos objetivos desta aplicação está baseado na evacuação hospitalar. Justamente por isso, é recomendável que o AV seja suficientemente grande e complexo a ponto de confundir o usuário, durante a simulação, e forçá-lo analisar atentamente a sinalização de emergência. Assim sendo, o AV desenvolvido para o presente projeto é constituído por 23 cômodos, sendo: dezesseis quartos hospitalares (Figura 25), três salas de atendimento médico (Figura 26), uma sala de espera interna (Figura 27), uma sala de UTI (Figura 28), uma sala de reunião (Figura 29) e uma recepção com sala de espera (Figura 30).



Figura 25 – Quarto hospitalar.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Figura 26 – Sala de atendimento médico.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Figura 27 – Sala de espera interna.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Figura 28 – Sala de UTI.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)



Figura 29 – Sala de reunião.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

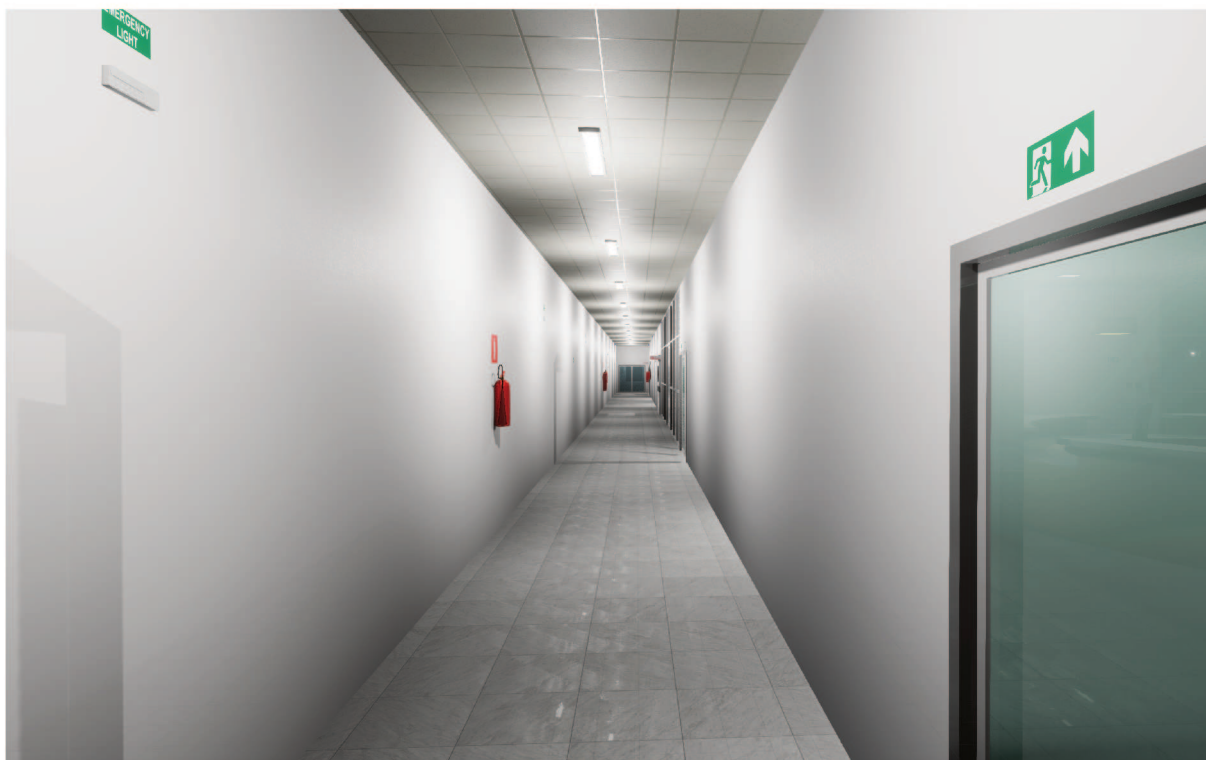
Figura 30 – Recepção hospitalar.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Além disso, para conectar os AV foram desenvolvidos quatro corredores principais. O primeiro, além de conectar a recepção, sala de reunião e UTI, ainda permite o acesso aos demais cômodos virtuais — salas de atendimento, sala de espera interna e quartos hospitalares — (Figura 31). O segundo e terceiro corredor conectam a UTI, salas de atendimento e sala de espera interna (Figura 32). O quarto corredor conecta a sala de espera interna e todos os quartos hospitalares (Figura 33). Todos os cômodos apresentados anteriormente, bem como as funcionalidades mencionadas na seção 4.2 podem ser visualizadas através do Link: <<https://www.youtube.com/watch?v=SFERE-gSHeE>>.

Figura 31 – Corredor principal: conecta a recepção, sala de reunião e UTI.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Figura 32 – Corredores intermediários: conectam a UTI, salas de atendimento e sala de espera interna.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)



Figura 33 – Corredor dos quartos hospitalares: conecta a sala de espera e todos os quartos hospitalares.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

## 5.2 Apresentação do Treinamento

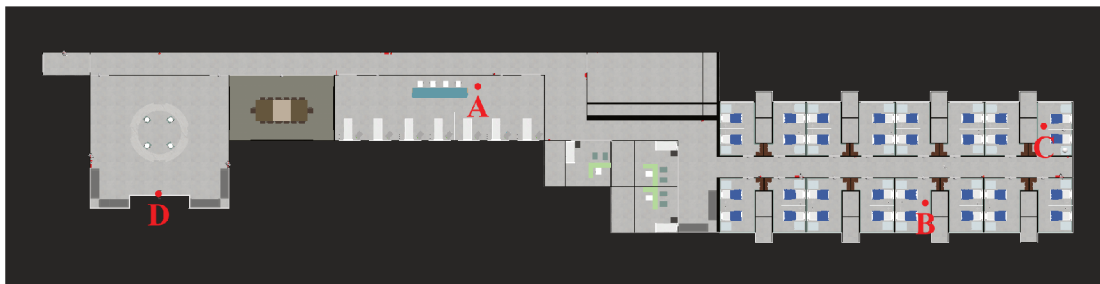
Na seção 2.4 foi mencionado sobre a complexidade do ambiente hospitalar. Além das distintas fontes que podem representar um risco aos usuários, o EAS apresenta elevada complexidade no que se refere à mobilidade do indivíduo. Ademais, alguns pacientes estão continuamente conectados a equipamentos vitais para sua saúde. Nesse sentido, diante de uma situação de emergência, é primordial que os profissionais da saúde estejam preparados para auxiliar esses pacientes. Justamente por isso, o AV foi desenvolvido de tal forma que é possível, durante a simulação, verificar se o usuário demonstrou ou não comportamento altruísta. Embora não haja nenhum paciente no hospital (o usuário não tem conhecimento prévio dessa informação), o AV possui dezesseis quartos hospitalares. Cada um destes quartos possui um componente virtual capaz de identificar se o usuário entrou ou não nesse ambiente. Assim, sabendo que o avatar da simulação almeja simular um profissional da saúde, se espera que o usuário entre no maior número de quartos possíveis para verificar se há pacientes necessitando de auxílio. Espera-se, ainda, que o usuário seja capaz de julgar qual melhor momento para abandonar a edificação, ou seja, em qual momento a permanência no ambiente em chamas se torna um risco para a saúde do avatar.

A fim de auxiliar o usuário no que se refere ao treinamento, a simulação foi fragmentada em duas fases distintas: (1) aclimação e (2) evacuação. A primeira fase compreende o intervalo entre o início da simulação até a conclusão do objetivo inicial. Nessa fase, informações iniciais, instruções e objetivo são fornecidos ao indivíduo. Desta forma, o usuário tem oportunidade de se familiarizar com o AV, dispositivos de interação e funcionalidades da aplicação. A simulação tem início com o avatar posicionado na UTI (posição A presente na Figura 34). Após visualizar todas as informações e instruções, o usuário tem acesso ao seu primeiro objetivo: encontrar o quarto hospitalar número 108 (posição B presente na Figura 34) e verificar se o paciente que obteve alta já desocupou o leito. Assim que esse objetivo é concluído, encerra-se a fase de aclimação. A partir desse momento, o usuário é livre para agir da maneira que julgar mais correta, podendo caminhar livremente pelo AV.

Sete segundos após concluir o objetivo inicial, é possível ouvir gritos advindos da ala dos quartos hospitalares. Simultaneamente, tem início a propagação do incêndio (Figura 35) no quarto 101 (posição C presente na Figura 34), representando, assim, o início da fase de evacuação. Devido ao incêndio, inicia-se, também, a propagação da fumaça (Figura 36) pelo AV. Além disso, o sistema de emergência identifica a situação adversa e aciona os alarmes (sonoro e visual) para alertar todos os cidadãos sobre o sinistro.

O profissional da saúde que está realizando o treinamento não tem informações sobre a situação de emergência nem o local onde está ocorrendo essa situação. As-

Figura 34 – Vista superior do ambiente hospitalar.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

sim sendo, após identificar que há uma situação atípica, o usuário é livre para iniciar, imediatamente, o processo de evacuação ou tentar obter mais informações sobre a situação de emergência. Para elevar a sensação de presença, extintores e hidrantes foram adicionados no AV. No entanto, ao se aproximar de um desses objetos, o usuário recebe um alerta informando que a equipe brigadista já foi acionada.

A causa do incêndio está conectada à uma falha no painel de serviço hospitalar. Tal falha, além de ser responsável pelo início do incêndio, ainda provoca um curto-circuito no ambiente hospitalar (representado por uma pequena explosão). Conseqüentemente, todas as luzes convencionais do hospital se apagam. Instantaneamente, luzes de emergência são acionadas e a sinalização de emergência fotoluminescente passa a brilhar na ausência de luz.

Embora a propagação do incêndio esteja limitada ao quarto 101, a funcionalidade da fumaça foi desenvolvida para se propagar tanto pelo quarto quanto pelo corredor dessa ala hospitalar. Independentemente, é primordial que o avatar permaneça abaixado quando estiver em um ambiente com fumaça, evitando, assim, inalar gases tóxicos. Como forma de *feedback* imediato, o *Grid-Box* desenvolvido consegue identificar se o usuário está inalando fumaça. Nesse caso, além de ouvir o avatar tossindo, o algoritmo irá contabilizar o tempo em que o avatar esteve inalando gases tóxicos.

Mesmo com a propagação da fumaça o usuário é capaz de se locomover agachado pelo AV, inclusive para verificar se há pacientes necessitando de auxílio nos quartos hospitalares. Quando o usuário julgar que sua permanência no ambiente representa um risco para sua própria saúde, deve iniciar o processo de evacuação. Para isso, o usuário deverá utilizar as luzes e a sinalização de emergência para encontrar, a partir de qualquer local do hospital, a saída de emergência mais próxima. No caso particular do AV desenvolvido, a entrada do hospital virtual (posição D presente na Figura 34), que dá acesso a recepção, também é a saída de emergência mais próxima.

Após encontrar e atravessar a saída de emergência (posição D presente na Figura 34), a simulação é encerrada. Em seguida, a aplicação fornece ao usuário o

tempo total gasto para evacuar o hospital (o cronômetro inicia quando se encerra a fase de aclimatação), a quantidade de quartos investigados e o tempo total em contato com os gases tóxicos. Além disso, a aplicação fornece, ainda, a pontuação geral obtida pelo usuário. A Equação 1 descreve como a pontuação geral é calculada. Através desses resultados, se espera que o profissional da saúde se sinta encorajado em realizar um novo treinamento e melhorar sua pontuação.

$$PG = (QI \times 1000) - (TE) - (TIF \times 1000) \quad (1)$$

Onde:

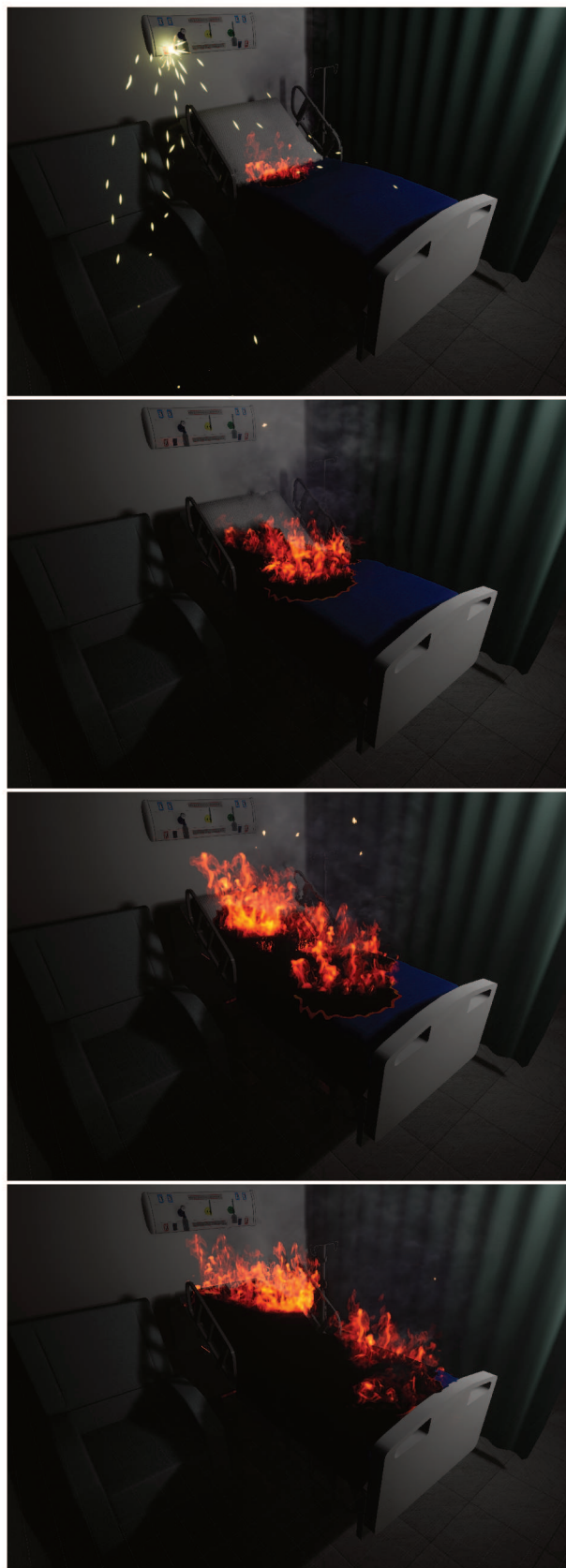
*PG*: pontuação geral obtida pelo usuário

*QI*: quantidade total de quartos investigados

*TE*: tempo de evacuação em segundos

*TIF*: tempo total inalando fumaça em segundos

Figura 35 – Propagação do incêndio.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)



Figura 36 – Propagação da fumaça.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

### 5.3 Considerações Finais

O AV foi desenvolvido utilizando como referência uma planta CAD e um arquivo BIM de um hospital real. Para simplificar a simulação e alcançar os objetivos desejados, alguns cômodos foram modificados e outros foram substituídos. Todavia, a similaridade e complexidade do ambiente hospitalar real foi mantida. Além disso, através deste simulador é possível identificar aspectos que vão além da obtenção ou não de êxito na evacuação do AV. Pensamento altruísta, atenção com a sinalização de emergência e percepção de *feedback* imediato são exemplos de aspectos secundários que podem ser identificados durante o treinamento. Em relação à execução do treinamento, é importante ressaltar que cabe, ao próprio usuário da simulação, julgar em qual momento o processo de evacuação deve ser iniciado. Ou seja, logo após ouvir o alarme de emergência, após verificar todos os quartos hospitalares ou verificar apenas alguns quartos. Independentemente da escolha adotada, após o término da simulação, o usuário é capaz de visualizar a pontuação obtida e, se desejar, reiniciar a simulação.

---

## Avaliação da Aplicação

Após concluir o desenvolvimento da aplicação, é primordial testar suas funcionalidades para garantir que estão funcionando como planejado. De acordo com Beizer (1995), os testes em *software* são essenciais para: (1) fornecer aos programadores informações pertinentes para evitar erros ou falhas, (2) fornecer informações de gerenciamento sobre os riscos de se utilizar a aplicação, (3) entregar um produto sem erros ou falhas, (4) desenvolver uma aplicação testável que pode ser facilmente validada, (5) forçar o *software* até que ele “quebre” propositalmente — permitindo identificar e corrigir falhas existentes na aplicação — e (6) demonstrar que o produto está funcionando como planejado.

### 6.1 Teste Caixa Preta

O teste funcional ou estrutural, também conhecido como *Black-box testing* (teste caixa preta), se baseia em requisitos e pode ser realizado, na teoria, sem que haja conhecimento algum sobre o *software* que está sendo testado (BEIZER, 1995). De acordo com Beizer (1990), o teste funcional considera o *software* como sendo uma caixa preta que deve ser submetido à distintas entradas. Para cada entrada deve ser verificado se a saída está em conformidade com o comportamento especificado (Figura 37). O usuário que está testando o *software* deve se preocupar apenas com as funcionalidades e recursos do sistema, ou seja, os detalhes da implementação não são analisados nesse tipo de teste.

Dentre as principais vantagens do teste funcional destaca-se o fato de que é possível, em teoria, detectar todos os erros ou falhas do sistema. Entretanto, o tempo necessário para identificar todas as inconsistências pode ser demasiadamente longo (BEIZER, 1990). O presente projeto recorreu ao teste funcional ou estrutural para garantir a qualidade do *software* e, conseqüentemente, assegurar que a aplicação está pronta para ser utilizada como forma de treinamento. É importante acrescentar

Figura 37 – Modelo do teste funcional ou estrutural.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

que este teste foi selecionado pois a aplicação desenvolvida apresenta um número reduzido de funcionalidades e recursos, o que viabiliza a utilização do teste funcional.

Antes de iniciar os testes funcionais, as funcionalidades e recursos da aplicação foram divididas em seis grupos: (1) menu inicial, (2) simulação semi imersiva, (3) simulação imersiva, (4) eventos comuns em ambas as simulações, (5) eventos exclusivos da simulação semi imersiva e (6) eventos exclusivos da simulação imersiva.

Ao iniciar o jogo sério, o usuário tem acesso ao menu principal da aplicação, no qual estão disponíveis quatro opções: (1) iniciar simulação no modo semi imersivo (*Start Simulation*), (2) iniciar simulação no modo imersivo (*Start VR Simulation*), (3) Créditos (*Credits*) e (4) sair da aplicação (*Exit Simulation*). Selecionando a terceira opção é fornecido ao usuário mais três botões: menu principal (*Main Menu*), *LinkedIn* e *Lattes*. Os sete botões foram testados e todos obtiveram resultados satisfatórios, assim como apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 – Botões disponíveis no menu inicial.

Menu Inicial			
Entrada	Resultado Esperado	Resultado Obtido	Conclusão
Pressionar botão <i>Start Simulation</i>	Pressionar sobre o botão <i>Start Simulation</i> faz com que o treinamento semi imersivo seja iniciado	Ao pressionar o botão <i>Start Simulation</i> o treinamento semi imersivo foi iniciado	Aprovado
Pressionar botão <i>Start VR Simulation</i>	Pressionar sobre o botão <i>Start VR Simulation</i> faz com que o treinamento imersivo seja iniciado	Ao pressionar o botão <i>Start VR Simulation</i> o treinamento imersivo foi iniciado	Aprovado
Pressionar botão <i>Credits</i>	Pressionar sobre o botão <i>Credits</i> faz com que os créditos da aplicação fiquem visíveis	Ao pressionar o botão <i>Credits</i> foi possível visualizar os créditos da aplicação	Aprovado
Pressionar botão <i>Main Menu</i>	Pressionar sobre o botão <i>Main Menu</i> faz com que a aplicação volte para o menu inicial	Ao pressionar o botão <i>Main Menu</i> a aplicação voltou para o menu inicial	Aprovado
Pressionar botão <i>LinkedIn</i>	Pressionar sobre o botão <i>LinkedIn</i> faz abrir uma página web no perfil do <i>LinkedIn</i> do desenvolvedor da aplicação	Ao pressionar o botão <i>LinkedIn</i> a página web com o <i>LinkedIn</i> do desenvolvedor foi aberta	Aprovado
Pressionar botão <i>Lattes</i>	Pressionar sobre o botão <i>Lattes</i> faz abrir uma página web com o currículo <i>Lattes</i> do desenvolvedor da aplicação	Ao pressionar o botão <i>Lattes</i> a página web com o currículo <i>Lattes</i> do desenvolvedor foi aberta	Aprovado
Pressionar botão <i>Exit Simulation</i>	Pressionar sobre o botão <i>Exit Simulation</i> faz com que a aplicação seja encerrada	Ao pressionar o botão <i>Exit Simulation</i> a simulação foi encerrada	Aprovado

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Selecionando a primeira opção do menu inicial (*Start Simulation*) será iniciado o treinamento através da RV semi imersiva, ou seja, utilizando dispositivos convencionais como *mouse* e teclado (Figura 38). Assim sendo, todas as entradas de dados serão feitas através do *mouse* ou do teclado, seja para se locomover, visualizar ou interagir com o AV. Além disso, após encerrar a simulação e visualizar a pontuação geral, o usuário pode selecionar duas opções: (1) voltar para o menu inicial (*Main Menu*) ou (2) reiniciar a simulação (*Restart*). Todos *inputs* foram testados e obtiveram resultados satisfatórios, assim como apresentado na Tabela 9.

Figura 38 – Entrada de dados através do teclado.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

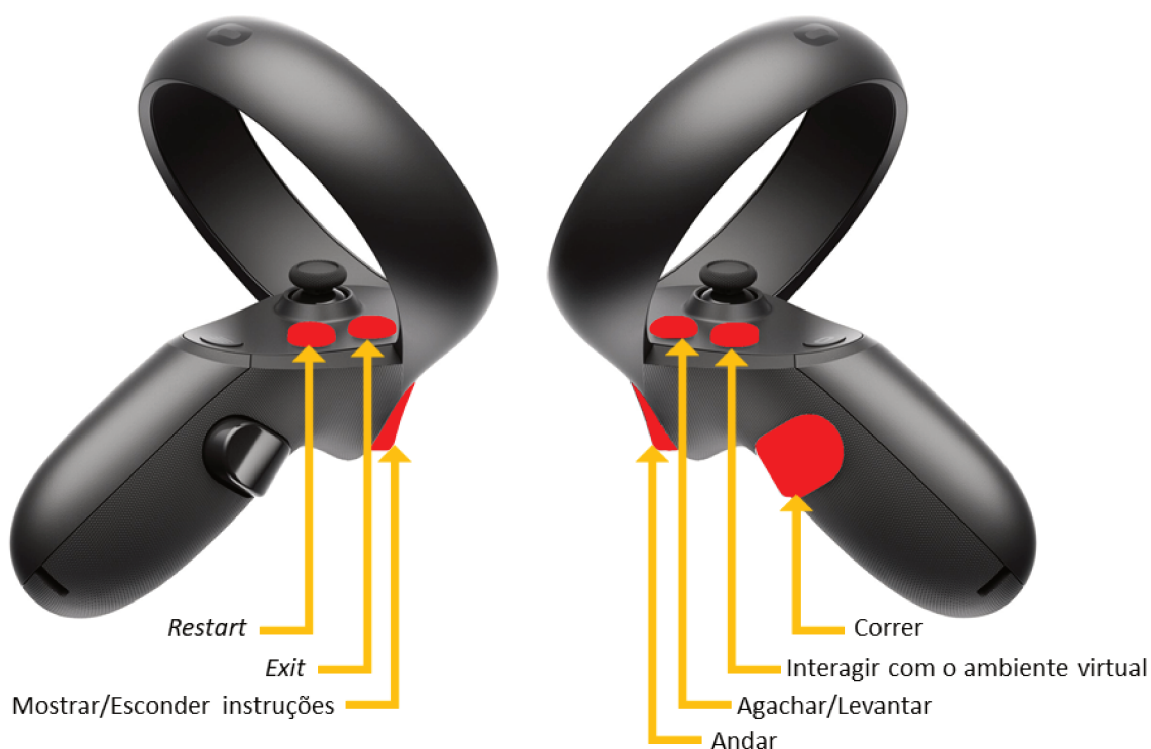
Tabela 9 – Inputs disponíveis na simulação semi imersiva.

Simulação semi imersiva			
Entrada	Resultado Esperado	Resultado Obtido	Conclusão
Movimentar a cabeça do personagem virtual com o <i>mouse</i>	Ao movimentar o <i>mouse</i> para qualquer direção é esperado que a cabeça do personagem acompanhe o movimento realizado	Através da movimentação do <i>mouse</i> foi possível visualizar o ambiente virtual	Aprovado
Andar para frente (tecla - W)	Pressionar a tecla W faz com que o personagem se mova para frente	Ao pressionar a tecla W o personagem se deslocou para frente	Aprovado
Andar para trás (tecla - S)	Pressionar a tecla S faz com que o personagem se mova para trás	Ao pressionar a tecla S o personagem se deslocou para trás	Aprovado
Andar para direita (tecla - D)	Pressionar a tecla D faz com que o personagem se mova para a direita	Ao pressionar a tecla D o personagem se deslocou para a direita	Aprovado
Andar para esquerda (tecla - A)	Pressionar a tecla A faz com que o personagem se mova para a esquerda	Ao pressionar a tecla A o personagem se deslocou para a esquerda	Aprovado
Correr (tecla - SHIFT)	Pressionar e manter pressionado a tecla SHIFT, enquanto o personagem está andando, faz com que ele passe a correr	Ao pressionar e manter pressionado a tecla SHIFT o personagem começou a correr	Aprovado
Agachar (tecla - CTRL)	Pressionar a tecla CTRL enquanto o personagem está em pé faz com que ele agache	Com o personagem em pé, ao pressionar a tecla CTRL ele agachou	Aprovado
Levantar (tecla - CTRL)	Pressionar a tecla CTRL enquanto o personagem está agachado faz com que ele levante	Com o personagem agachado, ao pressionar a tecla CTRL ele ficou em pé	Aprovado
Interagir com o ambiente virtual (tecla - E)	Pressionar a tecla E, quando necessário, faz com que o personagem interaja com o ambiente virtual	Ao pressionar a tecla E a porta hospitalar abriu	Aprovado
Pressionar botão <i>Main Menu</i>	Pressionar sobre o botão <i>Main Menu</i> , ao término da simulação, faz com que a aplicação retorne para o menu inicial	Ao pressionar o botão <i>Main Menu</i> a aplicação retornou para o menu inicial	Aprovado
Pressionar botão <i>Restart</i>	Pressionar sobre o botão <i>Restart</i> , ao término da simulação, faz com que o treinamento seja reiniciado	Ao pressionar o botão <i>Restart</i> a simulação foi reiniciada	Aprovado

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Selecionando a segunda opção do menu inicial (*Start VR Simulation*) será iniciado o treinamento através da RV imersiva, ou seja, utilizando o HMD e seus controles. Assim sendo, todas as entradas de dados serão realizadas através do posicionamento do HMD e dos botões disponíveis nos controles (Figura 39). Enquanto os controles são utilizados para locomover e interagir com o AV, o HMD é utilizado para visualizar o ambiente hospitalar. Todos *inputs* foram testados e obtiveram resultados satisfatórios, assim como apresentado na Tabela 10.

Figura 39 – Entrada de dados através dos controles do *Oculus Rift S*.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Tabela 10 – Inputs disponíveis na simulação imersiva.

Simulação imersiva			
Entrada	Resultado Esperado	Resultado Obtido	Conclusão
Movimentar a cabeça do personagem virtual com a movimentação do HMD	Ao movimentar o HMD para qualquer direção é esperado que a cabeça do personagem acompanhe o movimento realizado	Através da movimentação do HMD foi possível visualizar o ambiente virtual	Aprovado
Andar ( <i>right trigger</i> )	Pressionar o <i>right trigger</i> faz com que o personagem se mova	Ao pressionar o <i>right trigger</i> o personagem começou a se mover, sendo necessário movimentar o HMD para alterar a direção	Aprovado
Correr ( <i>right grip</i> )	Pressionar e manter pressionado o <i>right grip</i> , enquanto o personagem está andando, faz com que ele passe a correr	Ao pressionar e manter pressionado o <i>right grip</i> o personagem começou a correr	Aprovado
Agachar (tecla - B)	Pressionar a tecla B, enquanto o personagem está em pé, faz com que ele agache	Com o personagem em pé, ao pressionar a tecla B ele agachou	Aprovado
Levantar (tecla - B)	Pressionar a tecla B, enquanto o personagem está agachado, faz com que ele levante	Com o personagem agachado, ao pressionar a tecla B ele ficou em pé	Aprovado
Interagir com o ambiente virtual (tecla - A)	Pressionar a tecla A, quando necessário, faz com que o personagem interaja com o ambiente virtual	Ao pressionar a tecla A a porta hospitalar abriu	Aprovado
Mostrar instruções ( <i>left trigger</i> )	Pressionar o <i>left trigger</i> faz com que as instruções fiquem visíveis para o usuário	Ao pressionar o <i>left trigger</i> , pela primeira vez, foi possível ver as instruções	Aprovado
Esconder instruções ( <i>left trigger</i> )	Pressionar o <i>left trigger</i> , pela segunda vez, faz com que as instruções desapareçam	Ao pressionar o <i>left trigger</i> , pela segunda vez, as instruções desapareceram	Aprovado
Restart (tecla - X)	Pressionar a tecla X, ao término da simulação, faz com que o treinamento seja reiniciado	Ao pressionar a tecla X, a simulação foi reiniciada	Aprovado
Exit (tecla - Y)	Pressionar a tecla Y, ao término da simulação, faz com que o treinamento seja encerrado	Ao pressionar a tecla Y, a simulação foi encerrada	Aprovado

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Além das entradas analisadas, o teste funcional levou em consideração os principais “eventos” desse sistema. Inicialmente, foi considerado apenas os eventos comuns às simulações semi imersiva e imersiva: (1) apresentar instruções iniciais, (2) apresentar mensagens, (3) iniciar propagação do incêndio, (4) iniciar propagação da fumaça, (5) iniciar sistema de emergência e (6) encerrar simulação. Todos os “eventos” foram analisados e obtiveram resultados satisfatórios, assim como apresentado na Tabela 11.



Tabela 11 – Eventos comuns tanto na simulação semi imersiva quanto na imersiva.

Eventos comuns em ambas simulações			
Evento	Resultado Esperado	Resultado Obtido	Conclusão
Apresentar instruções iniciais	Logo após iniciar a simulação, todas as instruções iniciais devem ser fornecidas ao usuário	Após início da simulação, foi possível visualizar todas as instruções iniciais, tanto no modo semi imersivo quanto no imersivo	Aprovado
Apresentar mensagens	Ao se aproximar de um objeto virtual que permite interação com o usuário deve ser fornecido uma mensagem explicando sobre a interação	Ao se aproximar de uma porta virtual foi fornecido uma mensagem informando que era necessário pressionar a tecla E para interagir	Aprovado
Iniciar propagação do incêndio	Sete segundos após o usuário cumprir seu objetivo (verificar o quarto 108), deve ser iniciado a propagação do incêndio	Alguns segundos após verificar o quarto 108 foi iniciado a propagação do incêndio	Aprovado
Iniciar propagação da fumaça	Dezoito segundos após o usuário cumprir seu objetivo (verificar o quarto 108), deve ser iniciado a propagação da fumaça	Alguns segundos após verificar o quarto 108 foi iniciado a propagação da fumaça	Aprovado
Iniciar sistema de emergência	Vinte segundos após o usuário cumprir seu objetivo (verificar o quarto 108), deve ser acionado o sistema de emergência	Alguns segundos após verificar o quarto 108 foi acionado o sistema de emergência	Aprovado
Encerrar simulação	Após alcançar a saída de emergência do hospital a simulação deve ser encerrada	Após atravessar a saída de emergência a simulação foi encerrada	Aprovado

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Devido às particularidades da RV, alguns “eventos” foram alterados para aprimorar a jogabilidade no modo imersivo. Justamente por isso, alguns “eventos” só ocorrem no modo semi imersivo e outros só ocorrem no modo imersivo. A Tabela 12 retrata os eventos exclusivos do modo semi imersivo, tais como: (1) apresentar instruções fixas no canto inferior direito, (2) apresentar objetivo no canto superior direito e (3) apresentar pontuação obtida na simulação. A Tabela 13, por sua vez, refere-se ao “evento” exclusivo do modo imersivo (apresentar instrução fixa no centro inferior da tela). Independentemente do modo de jogabilidade, os quatro eventos foram analisados e obtiveram resultados satisfatórios.

Tabela 12 – Eventos exclusivos do modo semi imersivo.

Eventos exclusivos da simulação semi imersiva			
Evento	Resultado Esperado	Resultado Obtido	Conclusão
Apresentar instruções fixas no canto inferior direito	Durante toda a simulação deve permanecer visível, no canto inferior direito, as instruções para auxiliar o usuário com os comandos da aplicação	Logo após encerrar as instruções iniciais, ficou visível, no canto inferior direito, as instruções fixas. Essas instruções permaneceram visíveis até o final da simulação	Aprovado
Apresentar objetivo no canto superior direito	Após início da simulação deve ficar visível, no canto superior direito, o objetivo do usuário. Esse objetivo deverá permanecer visível até que seja concluído	Logo após encerrar as instruções iniciais, ficou visível, no canto superior direito, o objetivo do usuário. Esse objetivo permaneceu visível enquanto o usuário não concluiu o objetivo (verificar o quarto 108)	Aprovado
Apresentar pontuação obtida na simulação	Após encerrar a simulação deve ser fornecido ao usuário a pontuação obtida	Após atravessar a saída de emergência, a simulação foi encerrada e a pontuação geral foi fornecida ao usuário	Aprovado

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Tabela 13 – Evento exclusivo do modo imersivo.

Eventos exclusivos da simulação imersiva			
Evento	Resultado Esperado	Resultado Obtido	Conclusão
Apresentar instrução fixa no centro inferior da tela	Durante toda a simulação deve permanecer visível, no centro inferior da tela, uma instrução informando que para visualizar os comandos e objetivo da aplicação é necessário pressionar o <i>left trigger</i>	Logo após encerrar as instruções iniciais, ficou visível, no centro inferior da tela, uma mensagem informando que é necessário pressionar o <i>left trigger</i> para visualizar os comandos e objetivo da aplicação	Aprovado

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

## 6.2 Considerações Finais

Embora os principais *inputs*, botões e “eventos” estejam em conformidade com o comportamento desejado, ou seja, obtiveram resultados satisfatórios ao final de todos os testes, é importante acrescentar que algumas inconsistências foram identificadas durante essa fase. Tais inconsistências foram corrigidas em uma segunda etapa e, posteriormente, os *inputs*, botões e “eventos” foram testadas novamente. Após obter resultados satisfatórios para todas as entradas, foi possível afirmar que o teste funcional cumpriu com seu objetivo, todas as saídas estão alinhadas com o que foi planejado durante a fase de desenvolvimento da aplicação.

---

## Conclusão

Este trabalho propôs a utilização da RV associada aos jogos sérios para desenvolver um simulador de treinamento de evacuação hospitalar diante de um incêndio. Além de apresentar o simulador virtual desenvolvido, foi descrito como ocorreu o desenvolvimento do simulador e de suas funcionalidades. Mesmo enquanto artefato protótipo, o simulador aparenta ter potencial para ser utilizado — pelos profissionais da área da saúde — como forma de treinamento complementar ao treinamento tradicional realizado atualmente. Por fim, neste capítulo será apresentado as principais contribuições, limitações e trabalhos futuros identificados através do artefato desenvolvido. Em seguida, as considerações finais feitas pelo autor serão apresentadas na seção 7.4.

### 7.1 Principais contribuições

Assim como apresentado na seção 1.2 (Motivação), nenhum trabalho identificado abordou, simultaneamente, a propagação da fumaça, a propagação do incêndio e um sistema de emergência completo, o que faz com que o protótipo desenvolvido seja inédito. Através do simulador desenvolvido para o presente projeto o usuário é capaz de: (1) navegar em AV que simula um hospital, (2) visualizar a propagação do incêndio e suas consequências, (3) visualizar a propagação da fumaça pelo AV e sentir seus efeitos e, por fim, (4) compreender a gravidade da situação através do sistema de emergência (iluminação, sinalização e alarmes). Além disso, a simulação pode ser realizada de duas formas distintas: (1) através de um monitor convencional acoplado ao *mouse* e teclado (RV semi imersiva) e (2) por meio de um HMD (*Oculus Rift S*) acoplado aos seus controles (RV imersiva). Vale acrescentar, ainda, que as estratégias desenvolvidas para simular a propagação do incêndio e fumaça foram baseada na funcionalidade criada por Lévesque (2012). No entanto, as alterações realizadas na funcionalidade original e a utilização em um contexto de treinamento baseado em

jogo sério fazem com que as novas estratégias adquiram certo grau de ineditismo.

## 7.2 Principais Limitações

De acordo com o modelo de Peffers et al. (2007) (seção 1.4), um “processo de interação” pode ser realizado, caso necessário, após a fase de “avaliação”. Em outras palavras, durante a fase de desenvolvimento do artefato, o *designer* adquire mais experiência sobre o tema analisado e, conseqüentemente, surgem novas ideias para solucionar o problema. Neste caso, o modelo de Peffers et al. (2007) permite que o *designer* retorne aos estágios iniciais para analisar e implementar essas novas ideias, tornando a solução ainda mais eficiente. Justamente por isso, o desenvolvimento de um protótipo é fundamental nesse método de pesquisa, pois é através deste protótipo que será possível identificar as principais limitações do projeto e, posteriormente, corrigi-las em etapas futuras.

O objetivo geral do presente trabalho está fundamentado no desenvolvimento de uma aplicação na qual são associados os conceitos de RV e jogos sérios (subseção 1.3.1). Embora os resultados iniciais, obtidos durante a fase de “avaliação” (PEFFERS et al., 2007), sejam satisfatórios, é importante ressaltar que o protótipo desenvolvido ainda não pode ser caracterizado como um jogo sério. Segundo Martens, Diener e Malo (2008), para afirmar que um treinamento é baseado em jogo sério é necessário que a aplicação desenvolvida possua três critérios fundamentais: aprendizagem, simulação e jogos (seção 2.9). No que tange o critério da simulação, o protótipo desenvolvido cumpriu com o seu objetivo ao desenvolver funcionalidades suficientemente realistas capazes de retratar fenômenos naturais, como a propagação do fogo e da fumaça. Os demais critérios não foram completamente satisfeitos. O critério da aprendizagem carece de uma metodologia que suporte processos pedagógicos voltados para a transmissão e retenção de conhecimento pelos usuários. O critério dos jogos, por sua vez, necessita de mais cenários e módulos independentes, permitindo que o responsável pelo treinamento customize a aplicação, criando um treinamento personalizado com um nível gradativo de dificuldade.

Além disso, o simulador de evacuação hospitalar, enquanto artefato protótipo, apresenta limitações relacionadas às funcionalidades virtuais e à forma de interação com o AV. Embora estas limitações estejam presentes nesta seção, as soluções identificadas para cada limitação serão apresentadas na seção 7.3 (Trabalhos Futuros).

1. Considerando o treinamento de evacuação imersivo, as interações do usuário com o AV, seja para se locomover pelo ambiente ou interagir com objetos virtuais, encontram-se distante da realidade. Mesmo sendo um treinamento imersivo, as interações foram simplificadas. Por exemplo, ao invés de um gesto, próximo a

maçaneta virtual, para abrir a porta, é possível interagir com esse objeto clicando em um botão;

2. Assim como apresentado na seção 6.1, algumas funcionalidades presentes no treinamento semi imersivo tiveram que ser removidas no treinamento imersivo;
3. Durante os testes realizados no *software*, ambos treinamentos (semi imersivo e imersivo) foram realizados diversas vezes. Após conclusão dos testes da simulação imersiva, o usuário sentiu dor de cabeça e enjoo, efeitos provenientes do *motion sickness*;
4. A funcionalidade desenvolvida para simular a propagação do incêndio não considera a proximidade do personagem virtual com as chamas. Assim, mesmo que o usuário se encontre próximo do incêndio, nenhum tipo de *feedback* será fornecido para o usuário. Em outras palavras, mesmo estando próximo das chamas a “saúde” do personagem virtual não será alterada, tão pouco será emitido algum som para simular a dor causada pelas queimaduras proveniente do incêndio;
5. O personagem virtual se encontra sozinho no ambiente hospitalar. Assim sendo, além de não ser possível analisar como o usuário poderia interagir com um NPC, não é possível investigar se o NPC poderia interferir na evacuação hospitalar.

### 7.3 Trabalhos Futuros

Após apresentação das principais limitações (seção 7.2), identificou-se a necessidade de iterar de volta à etapa de projeto e desenvolvimento para aprimorar o artefato em trabalhos futuros. Assim sendo, para aprimorar a aplicação e, ao mesmo tempo, desenvolver soluções para as principais limitações identificadas, é essencial introduzir as melhorias apresentadas a seguir:

1. No modo imersivo, a locomoção do avatar pelo ambiente virtual é unidirecional, ou seja, o avatar é capaz de se mover apenas na direção em que o usuário está olhando. Em trabalhos futuros, deverá ser analisado a viabilidade de movimentar o avatar através do *joystick* presente no controle, permitindo dois movimentos distintos e simultâneos (visualização e navegação). No entanto, é necessário investigar se essa alteração pode elevar os efeitos provenientes do *motion sickness*. Além disso, deverá ser investigado a viabilidade de adicionar funcionalidades para captar os gestos do usuário, permitindo que o usuário interaja com os objetos virtuais de forma mais realista;
2. Devido às peculiaridades da RV imersiva, algumas funcionalidades do modo semi imersivo não foram implementadas no modo imersivo. É o caso, por exem-

plo, da funcionalidade desenvolvida para fornecer ao usuário a pontuação geral obtida quando a simulação é encerrada. Trabalhos futuros, deverão continuar o desenvolvimento da aplicação no modo RV;

3. Em relação ao *motion sickness*, trabalhos futuros deverão investigar a viabilidade de se alterar a forma como o usuário se desloca pelo AV. Além disso, outras abordagens poderão ser analisadas, tais como: (1) redução da qualidade gráfica da simulação visando elevar a taxa de atualização no HMD e (2) redução da velocidade de movimentação da cabeça do personagem virtual;
4. Em trabalhos futuros, a funcionalidade que simula a propagação do incêndio deverá ser alterada para que seja capaz de identificar quando o usuário está próximo das chamas, assim como ocorre na propagação da fumaça. Posteriormente, um *feedback* imediato deverá ser fornecido ao usuário, alertando-o do perigo de se aproximar das chamas. Esse *feedback* poderá ser realizado de duas formas: (1) adicionando um elemento virtual na tela que irá representar a “vida” do avatar e (2) através de um som. No primeiro caso, toda vez que o usuário chegar muito próximo ao incêndio, a barra virtual será, gradativamente, decrementada, assim como na aplicação desenvolvida por Rahouti et al. (2017). No segundo caso, o usuário irá reproduzir um som quando se aproximar demasiadamente do incêndio, assim como o som (“tosse”) reproduzido pelo avatar quando este se encontra no meio da fumaça;
5. Em trabalhos futuros, personagens não controláveis poderão ser adicionados no AV para enriquecer o treinamento de evacuação hospitalar. Tais personagens poderiam representar tanto pacientes quanto médicos virtuais. No primeiro caso, o usuário deverá auxiliar tais personagens na evacuação do ambiente hospitalar. No segundo caso, o usuário deverá comandar a equipe médica durante a evacuação do estabelecimento, delegando tarefa aos personagens virtuais.

Além das melhorias no simulador de evacuação hospitalar relacionadas às principais limitações, a aplicação, que atualmente se encontra na fase de “avaliação” deverá retornar para a fase de “projeto e desenvolvimento” (PEFFERS et al., 2007). Através desse processo iterativo os critérios fundamentais – aprendizagem e jogos – capazes de garantir que o treinamento é baseado em jogo sério deverão ser aprimorados. Além disso, trabalhos futuros deverão abordar os estudos de avaliação (quinta etapa do fluxo de Peffers et al. (2007)). É importante acrescentar que no momento da concepção deste documento de dissertação, é inviável realizar estudos com usuários devido ao atual contexto de pandemia da COVID-19. Portanto, após os devidos aprimoramentos da técnica e a eventual volta à normalidade nas universidades brasileiras, a técnica será avaliada por meio de estudos com usuários. Neste estudo, profissio-

nais da saúde voluntários deverão ser divididos em dois grupos. O primeiro grupo irá utilizar métodos tradicionais para aprender os procedimentos necessários durante a evacuação hospitalar. O segundo grupo, além de utilizar os métodos tradicionais utilizará, ainda, o simulador virtual de evacuação hospitalar. Ao término do treinamento, ambos grupos deverão responder a um questionário para avaliar a retenção de conhecimento. O grupo que utilizou o treinamento virtual deverá, ainda, responder ao questionário *System Usability Scale* (SUS) (BROOKE, 2013), visando coletar dados acerca da opinião dos usuários em relação à usabilidade da aplicação. Finalmente, para investigar qual método de treinamento apresenta a melhor retenção de conhecimento, ambos os grupos deverão responder um questionário após completar 3, 6, 9 e 12 meses, assim como no estudo desenvolvido por Farra et al. (2019a).

## 7.4 Considerações Finais

Sabe-se que a utilização da RV em treinamentos possibilita, em alguns cenários, maior retenção de conhecimento. Através da RV é possível reproduzir diversas situações sem colocar em risco a vida do usuário que está realizando o treinamento ou a vida dos demais envolvidos na simulação. No que tange a temática da evacuação hospitalar, realizar o treinamento de evacuação tradicional exige grande quantidade de profissionais da saúde, seja para realizar ou observar o treinamento, interferindo na rotina hospitalar. Conseqüentemente, o treinamento tradicional acaba sendo realizado poucas vezes ao longo do ano. Pode ser acrescentado, ainda, o fato de que esse tipo de treinamento se encontra distante de uma situação real, visto que a inserção de alguns elementos (fogo e fumaça) não são aconselhados nos treinamentos tradicionais de evacuação hospitalar. Diante desse panorama, a utilização da RV para treinamento de evacuação emerge como uma alternativa ao treinamento tradicional realizado atualmente.

Este treinamento alternativo poderia melhorar a retenção de conhecimento adquirida e, principalmente, proporcionar um treinamento imersivo, suficientemente realista e assíncrono. É importante acrescentar que esse tipo de treinamento pode ser realizado inúmeras vezes ao longo do ano. Assim sendo, este trabalho apresentou a pesquisa em andamento do projeto e desenvolvimento de um simulador de evacuação hospitalar diante de um incêndio. Os produtos resultantes deste trabalho foram: (1) o desenvolvimento inicial de um protótipo de simulador baseado em jogo sério e (2) o desenvolvimento de duas funcionalidades (propagação do incêndio e da fumaça) capazes de identificar o ambiente ao seu redor e propagarem-se pelo AV e objetos contidos nele.

Através da demonstração do protótipo desenvolvido, é possível assegurar que este simulador tem potencial para ser utilizado como treinamento complementar ao treina-

mento tradicional realizado atualmente. No entanto, como algumas limitações foram identificadas, será necessário aprimorar a aplicação para minimizar tais limitações. Através desse aprimoramento será possível melhorar a jogabilidade, o realismo da simulação e a aprendizagem resultante do treinamento. Finalmente, após o aprimoramento da aplicação, a condução de um estudo de usuário será fundamental para investigar se a utilização da RV no treinamento de evacuação hospitalar diante de um incêndio pode gerar maior retenção de conhecimento.



---

## Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Segurança contra Incêndios em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde**. Brasília, DF, Brasil: Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2014. v. 1, 141 p. Disponível em: <<http://biblioteca.cofen.gov.br/wp-content/uploads/2019/09/Seguranca-contra-Incendio-em-Estabelecimentos-Assistenciais-de-Saude.pdf>>. Acesso em: 25 maio. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12693: Sistemas de proteção por extintores de incêndio**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: ABNT, 1993.

\_\_\_\_\_. **NBR 10898: Sistema de iluminação de emergência**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: ABNT, 1999.

\_\_\_\_\_. **NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: ABNT, 2000.

\_\_\_\_\_. **NBR 9077: Saídas de emergência em edifícios**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: ABNT, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: ABNT, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR NBR13434-2: Sinalização de segurança contra incêndio e pânico. Parte 2: Símbolos e suas formas, dimensões e cores**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: ABNT, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 17240: Sistemas de detecção e alarme de incêndio – Projeto, instalação, comissionamento e manutenção de sistemas de detecção e alarme de incêndio – Requisitos**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: ABNT, 2010.

BEIZER, B. **Software Testing Techniques**. [S.l.]: Itp Media, 1990. ISBN 978-18-5032-880-3.

\_\_\_\_\_. **Black-Box Testing: Techniques for Functional Testing of Software and Systems**. Chichester, West Sussex, England; New York: Wiley, 1995. ISBN 978-04-7112-094-0.

BROOKE, J. Sus: A retrospective. **Journal of Usability Studies**, Usability Professionals' Association, Bloomingdale, IL, v. 8, n. 2, p. 29–40, 2013. ISSN 1931-3357.

CAMPBELL, R. **Structure Fires in Health Care Facilities**. [S.l.]: National Fire Protection Association, 2017. Disponível em: <<https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Building-and-life-safety/oshealthcarefacilities.pdf>>. Acesso em: 21 abr. 2021.

CARDOSO, A.; LAMOUNIER, E. J. A realidade virtual na educação e treinamento. In: TORI, R.; KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. A. (Ed.). **Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada**. Belém, PA, Brasil: SBC - Sociedade Brasileira de Computação, 2006. p. 304–312. ISBN 85-7669-068-3.

CUMMINGS, J. J.; BAILENSON, J. N. How immersive is enough? a meta-analysis of the effect of immersive technology on user presence. **Media Psychology**, Routledge, v. 19, n. 2, p. 272–309, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/15213269.2015.1015740>>.

DAS, M. et al. Risk-based emc approach in hospital environment. In: **2020 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility Signal/Power Integrity (EMCSI)**. Reno, NV, USA: IEEE, 2020. p. 676–680. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/EMCSI38923.2020.9191637>>.

DISCHINGER, M.; ELY, V. H. M. B.; PIARDI, S. M. D. G. Promovendo acessibilidade espacial nos edifícios públicos: Programa de acessibilidade às pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida nas edificações de uso público. **Florianópolis: MPSC**, 2012.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES, J. A. V. Design science research. In: **Design Science Research: A Method for Science and Technology Advancement**. Cham, Suíça: Springer International Publishing, 2015. p. 67–102. ISBN 978-3-319-07374-3. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/978-3-319-07374-3>>.

DYRO, J. F. Safety program, hospital. **Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation**, Wiley Interscience, Second Edition, p. 109–122, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/0471732877.emd231>>.

FARRA, S. et al. Effects of virtual reality simulation on worker emergency evacuation of neonates. **Disaster Medicine and Public Health Preparedness**, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, v. 13, n. 2, p. 301–308, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1017/dmp.2018.58>>.

FARRA, S. L. et al. Comparative cost of virtual reality training and live exercises for training hospital workers for evacuation. **CIN: Computers, Informatics, Nursing**, v. 37, n. 9, p. 446–454, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1097/CIN.0000000000000540>>.

FARRA, S. L.; MILLER, E. T. Integrative review: Virtual disaster training. **Journal of Nursing Education and Practice**, Sciedu Press, Ontário, Canadá, v. 3, n. 3, p. 93–101, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.5430/jnep.v3n3p93>>.

FENG, Z. et al. An immersive virtual reality serious game to enhance earthquake behavioral responses and post-earthquake evacuation preparedness in buildings. **Advanced Engineering Informatics**, Elsevier, [S.l.], v. 45, p. 101118, 2020. ISSN 1474-0346. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101118>>.

\_\_\_\_\_. Immersive virtual reality serious games for evacuation training and research: A systematic literature review. **Computers & Education**, Elsevier, [S.l.], v. 127, p. 252–266, 2018. ISSN 0360-1315. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.09.002>>.

\_\_\_\_\_. How people make decisions during earthquakes and post-earthquake evacuation: Using verbal protocol analysis in immersive virtual reality. **Safety Science**, Elsevier, [S.l.], v. 129, p. 104837, 2020. ISSN 0925-7535. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104837>>.

GARTNER. **2020-2022 Emerging Technology Roadmap for Large Enterprises**. [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: <<https://techversions.com/wp-content/uploads/2021/03/2020-2022-Emerging-Technology-Roadmap-for-Large-Enterprises.pdf>>. Acesso em: 11 set. 2021.

GEORGE, B. H.; SLEIPNESS, O. R.; QUEBBEMAN, A. Using virtual reality as a design input: Impacts on collaboration in a university design studio setting. In: . [S.l.]: Journal of Digital Landscape Architecture, 2017. v. 2, p. 252–259.

GOUVEIA, A. M. C. d.; ETRUSCO, P. Tempo de escape em edificações: os desafios do modelamento de incêndio no brasil. **REM: Revista Escola de Minas**, SciELO Brasil, Ouro Preto, MG, Brasil, v. 55, n. 4, p. 257–261, 2002. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0370-44672002000400005>>.

HEVNER, A. R. et al. Design science in information systems research. **MIS Quarterly**, Society for Information Management and The Management Information Systems Research Center, v. 28, n. 1, p. 75–105, 2004. ISSN 0276-7783. Disponível em: <<https://doi.org/10.2307/25148625>>.

HILTI. **COMPARTIMENTAÇÃO: A CHAVE PARA UMA PROTEÇÃO CONTRA FOGO COMPLETA**. [S.l.:s.n.], 2021. Disponível em: <<https://www.hilti.com.br/content/hilti/W2/BR/pt/produtos/firestop-and-fire-protection/compartimentacao.html>>. Acesso em: 26 maio. 2021.

HUNT, A.; GALEA, E. R.; LAWRENCE, P. J. An analysis and numerical simulation of the performance of trained hospital staff using movement assist devices to evacuate people with reduced mobility. **Fire and Materials**, v. 39, n. 4, p. 407–429, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/fam.2215>>.

INSTITUTO SPRINKLER BRASIL. **Instituto Sprinkler Brasil - Estatísticas**. [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: <<https://sprinklerbrasil.org.br/instituto-sprinkler-brasil/estatisticas/>>. Acesso em: 20 abr. 2021.

JERALD, J. **The VR Book: Human-Centered Design for Virtual Reality**. Association for Computing Machinery and Morgan & Claypool, 2015. ISBN 9781970001129. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/2792790>>.

KITCHENHAM, B.; CHARTERS, S. **Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering**. 2007.

LÉVESQUE, J. F. **Far Cry: How the Fire Burns and Spreads**. [S.l.: s.n.], 2012. Disponível em: <<http://jflevesque.com/2012/12/06/far-cry-how-the-fire-burns-and-spreads/>>. Acesso em: 21 jul. 2021.

LIU, T. et al. 3d visual simulation of individual and crowd behavior in earthquake evacuation. **Simulation: Transactions of the Society for Modeling and Simulation International**, Society for Modeling & Simulation International, San Diego, CA, USA, v. 95, n. 1, p. 65–81, 2018. ISSN 0037-5497. Disponível em: <<https://doi.org/10.1177/0037549717753294>>.

LOVREGLIO, R. et al. Prototyping virtual reality serious games for building earthquake preparedness: The auckland city hospital case study. **Advanced Engineering Informatics**, Elsevier, [S.l.], v. 38, p. 670–682, 2018. ISSN 1474-0346. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aei.2018.08.018>>.

LU, X. et al. Scenario simulation of indoor post-earthquake fire rescue based on building information model and virtual reality. **Advances in Engineering Software**, Elsevier, [S.l.], v. 143, p. 102792, 2020. ISSN 0965-9978. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2020.102792>>.

MARTENS, A.; DIENER, H.; MALO, S. Game-based learning with computers – learning, simulations, and games. In: PAN, Z. et al. (Ed.). **Transactions on Edutainment I. Lecture Notes in Computer Science**. Heidelberg, Alemanha: Springer-Verlag, 2008. v. 5080, p. 172–190. ISBN 978-3-540-69737-4. Disponível em: <[https://doi.org/10.1007/978-3-540-69744-2\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-540-69744-2_15)>.

MICHAEL, D.; CHEN, S. **Serious Games: Games That Educate, Train, and Inform**. Boston, MA, USA: Thomson Course Technology, 2006. ISBN 1592006221.

MILGRAM, P. et al. Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In: **Telemanipulator and Telepresence Technologies**. SPIE, 1994. v. 2351, p. 282–292. Disponível em: <<https://doi.org/10.1117/12.197321>>.

MINISTÉRIO DO TRABALHO. **NR-23 - Proteção Contra Incêndios**. [S.l.: s.n.], 1978. Disponível em: <<http://www.pncq.org.br/uploads/2012/09/NR-23.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2021.

PANZOLI, D. et al. Interaction and communication in an immersive learning game: The challenges of modelling real-time collaboration in a virtual operating room. In: MA, M.; OIKONOMOU, A. (Ed.). **Serious Games and Edutainment Applications**. Cham, Zugo, Suíça: Springer International Publishing, 2017. v. 2, p. 147–186. ISBN 978-3-319-51643-1.

PEFFERS, K. et al. A design science research methodology for information systems research. **Journal of Management Information Systems**, Routledge, Londres, Reino Unido, v. 24, n. 3, p. 45–77, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.2753/MIS0742-1222240302>>.

RAHOUTI, A.; DATOUSSAID, S.; LOVREGLIO, R. A sensitivity analysis of a hospital evacuation in case of fire: the impact of the percentage of people with reduced mobility and the staff to occupant's ratio. In: **Fire and Evacuation Modelling Technical Conference**. Torremolinos, Malaga, Spain: [s.n.], 2016. p. 1–15.

RAHOUTI, A. et al. An immersive serious game for firefighting and evacuation training in healthcare facilities. **International Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering**, World Academy of Science, Engineering and Technology, Londres, Reino Unido, v. 11, n. 9, p. 1088–1094, 2017.

REGO, F. d. A. **IMPLANTAÇÃO DE UM PLANO DE EMERGÊNCIA EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO PÚBLICA: UMA ABORDAGEM CENTRADA NOS USUÁRIOS E NOS FATORES QUE AFETAM AS AÇÕES DE ABANDONO**.

Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2011.

ROBINETT, W. Interactivity and individual viewpoint in shared virtual worlds: The big screen vs. networked personal displays. **ACM SIGGRAPH Computer Graphics**, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, v. 28, n. 2, p. 120–130, 1994. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/178951.178969>>.

SAMPAIO, J. **Notificações de incêndios em hospitais aumentam 96% no país**. [S.l.]: VEJA, 2020. Disponível em: <<https://veja.abril.com.br/brasil/notificacoes-de-incendios-em-hospitais-aumentam-96-no-pais/>>. Acesso em: 21 abr. 2021.

SECRETARIA INTEGRADA DE SAÚDE. **Critérios de elegibilidade para avaliação da inclusão no Programa de Internação Domiciliar**. Brasília, DF, Brasil: [s.n.], 2014. Disponível em: <[http://www.senado.leg.br/transparencia/SECRH/BASF/Anexo/A\\_02\\_2014\\_1005852.pdf](http://www.senado.leg.br/transparencia/SECRH/BASF/Anexo/A_02_2014_1005852.pdf)>. Acesso em: 24 maio. 2021.

SHANNON, T. **Unreal Engine 4 for design visualization: Developing stunning interactive visualizations, animations, and renderings**. [S.l.]: Addison-Wesley Professional, 2017. ISBN 978-0134680705.

SILVA, J. F. et al. A serious game for evacuation training. In: **2013 IEEE 2nd International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)**. Vilamoura, Portugal: IEEE, 2013. p. 1–6. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/SeGAH.2013.6665302>>.

SLATER, M.; WILBUR, S. A framework for immersive virtual environments (five): Speculations on the role of presence in virtual environments. **Presence: Teleoperators and Virtual Environments**, MIT Press, Cambridge, MA, USA, v. 6, n. 6, p. 603–616, 1997. ISSN 1054-7460. Disponível em: <<https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.6.603>>.

SOUZA, J. C. Emergências em locais com reunião de grande público: o papel da logística humanitária. In: **XXIX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET**. Ouro Preto, MG, Brasil: [s.n.], 2015. p. 412–423.

SUTHERLAND, I. E. The ultimate display. In: **Proceedings of IFIP Congress**. [S.l.: s.n.], 1965. p. 506–508.

- THOMSEN, A. S. S. et al. Operating room performance improves after proficiency-based virtual reality cataract surgery training. **American Academy of Ophthalmology**, Elsevier, v. 124, n. 4, p. 524–531, 2017. ISSN 0161-6420. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2016.11.015>>.
- TORI, R.; HOUNSELL, M. d. S.; KIRNER, C. Realidade virtual. In: TORI, R.; HOUNSELL, M. d. S. (Ed.). **Introdução a realidade virtual e aumentada**. Porto Alegre, RS, Brasil: SBC - Sociedade Brasileira de Computação, 2018. v. 1, p. 13–35. ISBN 978-85-7669-446-5.
- TORI, R.; KIRNER, C. Fundamentos de realidade virtual. In: TORI, R.; KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. A. (Ed.). **Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada**. Belém, PA, Brasil: SBC - Sociedade Brasileira de Computação, 2006. p. 2–21. ISBN 85-7669-068-3.
- UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO. **Visão Geral de Realidade Virtual**. [S.l.: s.n.], 2021. Disponível em: <[http://usuarios.upf.br/~pasqualotti/ccc053/intr\\_rv/visaogeral.htm](http://usuarios.upf.br/~pasqualotti/ccc053/intr_rv/visaogeral.htm)>. Acesso em: 01 jun. 2021.
- VINCE, J. **Introduction to Virtual Reality**. 1. ed. Londres, Inglaterra: Springer-Verlag, 2004. ISBN 978-1-85233-739-1. Disponível em: <[https://doi.org/10.1007/978-0-85729-386-2\\_1](https://doi.org/10.1007/978-0-85729-386-2_1)>.
- WOHLIN, C. Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering. In: **Proceedings of the 18th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering**. Nova Iorque, NY, EUA: Association for Computing Machinery, 2014. ISBN 9781450324762. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/2601248.2601268>>.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Health-Care Facilities**. [S.l.: s.n.], 2012. Disponível em: <[https://www.who.int/environmental\\_health\\_emergencies/services/en/](https://www.who.int/environmental_health_emergencies/services/en/)>. Acesso em: 19 abr. 2021.
- \_\_\_\_\_. **Registration Update - Countries or Areas**. [S.l.: s.n.], 2017. Disponível em: <[https://www.who.int/gpsc/5may/registration\\_update/en/](https://www.who.int/gpsc/5may/registration_update/en/)>. Acesso em: 19 abr. 2021.
- XIN, B. et al. The efficacy of immersive virtual reality surgical simulator training for pedicle screw placement: A randomized double-blind controlled trial. **World Neurosurgery**, Elsevier, v. 124, p. e324–e330, 2019. ISSN 1878-8750. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.12.090>>.
- ZYDA, M. From visual simulation to virtual reality to games. **Computer**, IEEE, v. 38, n. 9, p. 25–32, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/MC.2005.297>>.
- ÇAĞDAŞ, V.; STUBKJÆR, E. Design research for cadastral systems. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 35, n. 1, p. 77–87, 2011. ISSN 0198-9715. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2010.07.003>>.