

Simulação baseada em Agentes para análise e melhoria da evacuação de um Centro Hospitalar

JOÃO PEDRO NEVES DA SILVA
Junho de 2026

POLITÉCNICO DO PORTO
INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO

Simulação baseada em Agentes para análise e melhoria da evacuação de um Centro Hospitalar

João Pedro Neves da Silva

Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Área de Especialização em Sistemas e Planeamento Industrial

ISEP INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA DO PORTO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA
Instituto Superior de Engenharia do Porto

Junho, 2026

*Esta dissertação satisfaz, parcialmente, os requisitos que constam da Ficha de
Unidade Curricular de Tese/Dissertação, do 2º ano, do Mestrado em
Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Área de Especialização em
Sistemas e Planeamento Industrial.*

Candidato: João Pedro Neves da Silva, N.º 1200813, 1200813@isep.ipp.pt

Orientação Científica: Professor Doutor Luís Pinto Ferreira,
luispintoferreira@eu.ipp.pt

Coorientação Científica: Professor Doutor Luís Coelho, lfc@isep.ipp.pt

ISEP INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA DO PORTO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA
Instituto Superior de Engenharia do Porto
Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431, 4200-072 Porto

Junho, 2026

Aos meus Avós...

Agradecimentos

A todos aqueles que, de alguma forma me apoiaram durante o meu percurso académico, especialmente na concretização desta dissertação.

O mais profundo agradecimento ao meu orientador, Professor Doutor Luís Pinto Ferreira, pela sua disponibilidade, orientação científica, paciência e apoio ao longo de todo o desenvolvimento desta dissertação. Ao meu coorientador, Professor Doutor Luís Coelho, agradeço a colaboração e todo o apoio prestado no processo de desenvolvimento deste trabalho.

Um especial agradecimento ao Hospital de Dia Médico do Hospital de São Sebastião, em Santa Maria da Feira, e à Doutora Mafalda Santos, por me abrirem as portas para a realização deste trabalho e por todo o apoio e colaboração que me proporcionaram durante a fase de recolha de dados e desenvolvimento da simulação.

Aos meus colegas, em especial ao Guilherme Secca, que me ajudou no começo desta jornada. Ao Nuno, Lucas e Afonso, amigos de longa data, o meu sincero agradecimento por tornarem este meu percurso mais leve e agradável.

À minha família, em especial aos meus pais e ao meu primo Manuel João, expresso a minha profunda gratidão pelo apoio incondicional, incentivo constante e confiança que sempre depositaram em mim ao longo deste percurso académico. Eles são a minha base, o meu suporte e a minha inspiração.

Resumo

A simulação é uma ferramenta que permite criar modelos de forma a fornecer métricas ou observações que contribuam para a tomada de decisão. A simulação mostra-se bastante útil em diversos contextos, nomeadamente na tomada de decisão, de forma a que todas as decisões sejam mais informadas e que haja um menor risco, através do conhecimento das limitações e princípios básicos da simulação.

O objetivo principal desta tese foi desenvolver um modelo baseado em agentes, de forma a simular a evacuação do espaço do Hospital de Dia Médico do Hospital de São Sebastião, localizado na cidade de Santa Maria da Feira. Após realizar o redimensionamento da planta do antigo refeitório do hospital, onde se encontram atualmente as instalações do Hospital de Dia Médico, foram criados todos os perfis de ocupantes, comportamentos e divisões necessários para a realização do modelo.

Os resultados dos 6 cenários simulados mostraram que uma evacuação mais organizada é benéfica para o tempo de evacuação por ocupante. O uso de saídas de emergência alternativas tem um impacto significativo e positivo no tempo de evacuação.

Palavras-Chave: Simulação baseada em agentes; Evacuação; Hospital; Pathfinder; Segurança contra incêndio; Modelos de evacuação

Abstract

Simulation is a tool that allows the creation of models in order to provide metrics or observations that contribute to decision-making. Simulation proves to be very useful in various contexts, namely in decision-making, so that all decisions are better informed and there is less risk, through knowledge of the limitations and basic principles of simulation.

The main objective of this thesis was to develop an agent-based model in order to simulate the evacuation of the Medical Day Hospital of Hospital de São Sebastião, located in the city of Santa Maria da Feira. After redesigning the floor plan of the hospital's former canteen, where the Medical Day Hospital facilities are currently located, all occupant profiles, behaviors, and divisions necessary to carry out the model were created.

The results of the 6 simulated scenarios showed that a more organized evacuation is beneficial for the evacuation time per occupant. The use of alternative emergency exits has a very significant and positive impact on evacuation time.

Keywords: Agent-based simulation; Evacuation; Hospital; Pathfinder; Fire safety; Evacuation models

Índice

Lista de Figuras	vii
Lista de Tabelas	ix
Lista de Acrónimos	xi
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento do Trabalho	1
1.2 Objetivos do Trabalho	2
1.3 Apresentação da Unidade Hospitalar	2
1.4 Conteúdo e Organização da Dissertação	3
2 Revisão da Literatura	5
2.1 A importância da Simulação como ferramenta de apoio à decisão . .	5
2.2 Os Paradigmas de Simulação	7
2.2.1 Simulação Discreta	7
2.2.2 Simulação baseada em Agentes	8
2.2.3 Dinâmica de sistemas	9
2.3 Modelos Híbridos de simulação	10
2.4 Casos de Estudo - Simulação Baseada em Agentes: Setor da Saúde .	12
2.5 Casos de Estudo - Simulação Baseada em Agentes: Evacuação Setor da Saúde	14
2.6 A Simulação no contexto da Indústria 4.0	17
2.7 Legislação associada à evacuação de edifícios hospitalares	18
2.8 Panorama científico	19
2.9 Conclusões da Literatura	20
3 Ferramenta de apoio à decisão	23
3.1 O Sistema real	23
3.2 Construção do modelo de simulação	25
3.3 Validação do modelo	27
3.4 Cenários de evacuação	28
3.4.1 Cenário 1: Evacuação em estado normal	30
3.4.2 Cenário 2: Evacuação com funcionários em espera	32

3.4.3	Cenário 3: Evacuação com capacidade máxima de pacientes e pacientes acamados	34
3.4.4	Cenário 4: Evacuação com capacidade máxima de pacientes e pacientes acamados e espera dos funcionários	37
3.4.5	Cenário 5: Evacuação com acamados e lotação normal de pacientes	39
3.4.6	Cenário 6: Uso de saída de emergência secundária com acama- dos e lotação máxima	41
3.5	Resultados	43
4	Conclusões	45
4.1	Trabalho Futuro	46
	Referências	47

Lista de Figuras

1.1	Hospital de São Sebastião.	2
2.1	Número de publicações por ano sobre simulação baseada em agentes no contexto da saúde (2010-2024).	19
2.2	Países de origem dos artigos sobre simulação baseada em agentes no contexto da saúde (2010-2024).	20
2.3	Tipos de publicações sobre simulação baseada em agentes no contexto da saúde (2010-2024).	20
3.1	Planta do Hospital de Dia Médico do Hospital de São Sebastião. . .	24
3.2	Planta de emergência do Hospital de Dia Médico do Hospital de São Sebastião.	24
3.3	Medição da fachada do HDM no Google Maps.	26
3.4	Importação da planta para o Pathfinder.	26
3.5	Definição das zonas do Hospital de Dia Médico do Hospital de São Sebastião.	27
3.6	Perfil dos funcionários do hospital.	28
3.7	Perfil dos pacientes do hospital.	28
3.8	Definição de prioridade entre pacientes e funcionários.	29
3.9	Perfil dos visitantes do hospital.	30
3.10	Cenário 1: Evacuação em estado normal.	31
3.11	Gráfico da evolução do número de ocupantes da sala principal ao longo do tempo para o cenário 1.	31
3.12	Configuração do comportamento dos funcionários para o cenário 2. .	32
3.13	Cenário 2: Evacuação com funcionários em espera.	33
3.14	Gráfico da evolução do número de ocupantes da sala principal ao longo do tempo para o cenário 2.	33
3.15	Cenário 3: Evacuação com capacidade máxima de pacientes e pacientes acamados.	34
3.16	Configuração do perfil dos pacientes acamados para o cenário 3. . .	35
3.17	Configuração da geometria poligonal para os pacientes acamados. . .	35
3.18	Configuração dos comportamentos para os pacientes acamados e funcionários para o cenário 3.	36

3.19	Gráfico da evolução do número de ocupantes da sala principal ao longo do tempo para o cenário 3.	37
3.20	Cenário 4: Evacuação com capacidade máxima de pacientes e pacientes acamados e espera dos funcionários.	38
3.21	Configuração do comportamento dos funcionários para o cenário 4. .	38
3.22	Gráfico da evolução do número de ocupantes da sala principal ao longo do tempo para o cenário 4.	39
3.23	Cenário 5: Evacuação com acamados e lotação normal de pacientes.	40
3.24	Gráfico da evolução do número de ocupantes da sala principal ao longo do tempo para o cenário 5.	41
3.25	Cenário 6: Uso de saídas de emergência secundárias.	42
3.26	Gráfico da evolução do número de ocupantes da sala principal ao longo do tempo para o cenário 6.	42

Lista de Tabelas

2.1	Diferenças entre Dinâmica de Sistemas e Modelação Baseada em Agentes (Adaptado de:[18])	9
2.2	Exemplos de trabalhos que aplicaram métodos de simulação únicos. (Adaptado de:[19])	11
2.3	Casos de estudo: Simulação Baseada em Agentes (SBA) na Saúde .	12
3.1	Comparação dos tempos de deslocamento entre o modelo e a realidade.	27
3.2	Resumo das estatísticas de evacuação cenário 1.	32
3.3	Resumo das estatísticas de evacuação cenário 2.	34
3.4	Resumo das estatísticas de evacuação cenário 3.	37
3.5	Resumo das estatísticas de evacuação cenário 4.	39
3.6	Resumo das estatísticas de evacuação cenário 5.	40
3.7	Resumo das estatísticas de evacuação cenário 6.	43
3.8	Resumo das estatísticas de evacuação para todos os cenários.	43

Lista de Acrónimos

ABS	Simulação Baseada em Agentes (<i>Agent-Based Simulation</i>)
AVC	Acidente Vascular Cerebral
DES	Simulação de Eventos Discretos (<i>Discrete Event Simulation</i>)
HDM	Hospital de Dia Médico do Hospital São Sebastião
RHC	Unidades de Saúde Resilientes (<i>Resilient Healthcare</i>)
SCIE	Segurança Contra Incêndios em Edifícios
SD	Dinâmica de Sistemas (<i>System Dynamics</i>)

Capítulo 1

Introdução

Durante este capítulo será introduzido o tema dissertado e definidos os objetivos a alcançar com o trabalho que será realizado. De seguida, será apresentada a unidade hospitalar onde o trabalho será realizado e, por fim, será abordada a organização do documento e o seu conteúdo.

1.1 Enquadramento do Trabalho

Os centros hospitalares são fundamentais para a saúde pública e a sociedade como um todo, sendo assim crucial assegurar o bom funcionamento destes complexos mesmo em situações de crise, como por exemplo, os desastres naturais, através da elaboração de unidades hospitalares/saúde resilientes.

A construção de Unidades de Saúde Resilientes (*Resilient Healthcare*) (RHC) vai além da capacidade de resistir a situações de crise, trata-se de antecipar, monitorizar, responder e aprender. RHC implica integrar elementos como trabalho em equipa eficaz, protocolos, treino em simulações de crise, flexibilidade operacional e *design* organizacional que suporte adaptações rápidas [1].

Tendo em vista esta necessidade, este trabalho irá focar-se na simulação de evacuação de um modelo de unidade hospitalar que possa ser implementado em situações de crise, com base nos princípios de RHC, garantindo não apenas continuidade de operações, mas também segurança, qualidade do cuidado e rápida recuperação do sistema.

1.2 Objetivos do Trabalho

Sendo os centros hospitalares lugares de grande afluência de pessoas e com uma grande diversidade de perfis, uns mais vulneráveis que outros, é essencial garantir uma evacuação segura e eficiente do edifício em caso de necessidade.

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma simulação baseada em agentes que permita simular diversos cenários de evacuação de um centro hospitalar de Dia Médico localizado em Santa Maria da Feira e analisar o desempenho da evacuação em diferentes condições, como diferentes tipos de emergências, perfis de pacientes, rotas de evacuação e recursos disponíveis, para que, desta forma, seja possível identificar os pontos fortes e fracos de cada cenário.

1.3 Apresentação da Unidade Hospitalar

A unidade hospitalar onde este trabalho será realizado é o Hospital de Dia Médico do Hospital de São Sebastião (Hospital de Dia Médico do Hospital São Sebastião (HDM)), localizado em Santa Maria da Feira, no distrito de Aveiro. O Hospital de São Sebastião, que está ilustrado na figura 1.1, foi inaugurado em 1999 e atualmente encontra-se integrado no Unidade Local de Saúde de Entre Douro e Vouga, que conta também com outros dois hospitais que fornecem apoio à comunidade da região. O nome do hospital vem do voto que a população fez a São Sebastião numa altura de surtos de peste que assolavam a região e o país [2]. Atualmente, o Hospital de São Sebastião conta com diversas especialidades, nomeadamente Anestesiologia, Cardiologia, Cirurgia Geral, Cuidados Paliativos, entre outras importantes especialidades para a região [3].



Figura 1.1: Hospital de São Sebastião.

1.4 Conteúdo e Organização da Dissertação

Este trabalho está organizado em quatro capítulos. O primeiro capítulo introduz o tema, define os objetivos do trabalho e apresenta a unidade hospitalar onde o trabalho será realizado, de forma a dar a conhecer o contexto em que a simulação será aplicada.

O capítulo 2 explora e introduz os conceitos sobre RHC, simulação baseada em agentes e evacuação de edifícios em situações de crise/emergência, além da apresentação de casos de estudo relevantes ao estudo de evacuação com recurso a simulação de agentes.

No terceiro capítulo será abordada a ferramenta de simulação desenvolvida, assim como os resultados obtidos. Finalmente, o último capítulo discute os resultados, apresenta as conclusões do trabalho e sugere estudos para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Revisão da Literatura

Durante o capítulo dois, é apresentada uma revisão da literatura pertinente e a base teórica sobre a qual este estudo está estruturado. Serão apresentados conceitos relevantes, estudos vinculados ao tema em questão e os fundamentos teóricos que fornecem a perspectiva explicativa do objeto investigado.

2.1 A importância da Simulação como ferramenta de apoio à decisão

Para conseguir compreender o real potencial da simulação como ferramenta de apoio à decisão, é necessário entender os conceitos básicos que envolvem a ferramenta.

Segundo Banks et al. [4], a simulação é a imitação de uma operação ou sistema real ao longo de um dado período de tempo. A partir da simulação, seja esta feita manualmente ou com o auxílio de um computador, é possível analisar o comportamento do sistema em diferentes cenários e situações e, assim, tomar decisões informadas. O sistema simulado é baseado num conjunto de suposições, sendo estas suposições relações matemáticas, lógicas ou simbólicas entre as entidades intervenientes no sistema. Casos mais simples de simulação podem ser elaborados manualmente através de modelos matemáticos como o cálculo diferencial, teoria das probabilidades, entre outras técnicas matemáticas que permitem determinar as denominadas medidas de desempenho. Porém, Banks afirma que, para sistemas mais complexos, é praticamente impossível a realização de simulação através destes

modelos matemáticos, sendo necessário, neste caso, a utilização da simulação computacional. Para a simulação computacional, os resultados são obtidos através da observação do comportamento do sistema, assim como seria feito caso fosse testado no mundo real. O autor ainda vai mais longe e afirma que os sistemas modernos atuais (fábricas, fábricas de *chips*, etc.) são tão complexos que as suas interações apenas podem ser compreendidas através da simulação.

Em suma, a simulação é uma ferramenta que permite criar modelos, sejam estes matemáticos ou virtuais, com o auxílio do poder computacional, de forma a fornecer métricas ou observações que contribuam para a tomada de decisão.

Refletindo sobre as vantagens e desvantagens da simulação como ferramenta de apoio à decisão, é possível identificar diversos pontos positivos e negativos que podem influenciar a utilização desta ferramenta na tomada de decisão.

Começando pelas vantagens da simulação, esta ferramenta permite evitar perturbações no mundo real que podem acontecer durante a realização de testes. Além disso, a simulação permite antecipar problemas que podem surgir através de estrangulamentos ou falhas de design antes de serem implementados no mundo real. Esta ferramenta ainda permite a comparação de diferentes cenários/alternativas, análise de sistemas dinâmicos e fornece *insights* sobre os comportamentos do sistema. Quanto às desvantagens, existe a complexidade que por vezes pode enganar os decisores, o tempo e o custo para a obtenção de dados, o excesso de detalhes no modelo e a pressão por prazos, que frequentemente leva a um estudo de simulação menos fiável [5].

Sendo assim, um aspeto crítico da simulação é a verificação e validação do modelo. A validação do modelo confirma que este representa o sistema real com precisão suficiente para os objetivos do estudo, enquanto a verificação garante que o modelo computacional foi feito corretamente sem erros de programação. Em cenários de evacuação, onde testes reais são impossíveis de se fazer, a validação pela comparação com dados históricos ou literatura torna-se essencial [6, 7].

Atualmente, a simulação também é utilizada como ferramenta de aprendizagem em diversas áreas, nomeadamente na área da saúde, de forma a acelerar o processo de aprendizagem dos estudantes da área, embora exista falta de estudos que comprovem os resultados da simulação nesta área. Neste contexto, a simulação permite mitigar algumas questões ligadas à ética e aos direitos legais que podem surgir quando se utiliza tanto pacientes como animais para fins de aprendizagem ou testes. Durante a simulação de procedimentos clínicos, os estudantes conseguem não somente ganhar competências técnicas, mas também adquirir competências como liderança, trabalho em equipa e comunicação. Este método de aprendizagem permite que os estudantes possam cometer erros e aprender com eles sem colocar em risco a vida de pacientes reais, o que leva a um aumento de confiança por parte dos estudantes inexperientes. Além destas vantagens para os estudantes, a integração da simulação também traz

vantagens para os próprios instrutores/professores, já que, desta maneira, conseguem demonstrar os conceitos de forma interativa e ainda melhoraram as competências dos mesmos. Porém, neste cenário, a simulação também ainda apresenta desvantagens: desde a impossibilidade de replicar por completo a realidade de um corpo humano até à falta da interação humana com o paciente que treina a empatia necessária para lidar com pacientes reais [8].

Sendo assim, é possível concluir que a simulação como ferramenta consegue mostrar-se bastante útil em diversos cenários, nomeadamente na tomada de decisão de forma a conseguir tomar decisões mais informadas e com menor risco sempre que sejam tidas em conta as suas limitações e princípios básicos.

2.2 Os Paradigmas de Simulação

Como referido anteriormente, a simulação pode tomar diversas formas, dependendo do sistema a ser modelado e do nível de detalhe necessário para cada cenário. De seguida, serão apresentados os principais paradigmas da simulação mais enquadrados com o tema deste trabalho.

2.2.1 Simulação Discreta

A simulação discreta (Simulação de Eventos Discretos (*Discrete Event Simulation*) (DES)) é um paradigma de simulação onde as alterações no estado do sistema ocorrem em pontos específicos no tempo, ou seja, em eventos discretos. Este tipo de simulação abrange sistemas de médio a alto nível de detalhe e é particularmente útil para modelar sistemas em que as mudanças ocorrem de uma forma pontual e não contínua. Neste tipo de paradigma, os indivíduos/entidades são modelados como objetos distintos que interagem entre si e não como um grupo homogêneo, ao contrário do que acontece na dinâmica de sistemas [9].

O uso de DES é frequentemente utilizado na área da saúde, pois este tipo de simulação consegue modelar com mais detalhe todas as interações dos processos hospitalares e clínicos, o que permite uma melhor compreensão da alocação de recursos tanto humanos como financeiros no centro hospitalar. Muitas vezes, o sistema modelado serve como meio de comunicação entre a administração hospitalar ou clínica e os desenvolvedores do modelo de simulação. Mais recentemente, estudos como o de Cimellaro et al. [10] mostram que a DES tem-se vindo a revelar eficaz na avaliação da resiliência dos centros hospitalares após desastres naturais, nomeadamente sismos, além de permitir a análise dos planos de emergência de resposta a estes desastres que seria impossível de testar no mundo real. Os resultados obtidos nestes testes, permitiram mostrar reduções significativas nos tempos de espera quando ativado o plano de emergência, até 96% para pulseiras amarelas e 75% para as pulseiras verdes, o que demonstra a importância da DES nestes cenários.

2.2.2 Simulação baseada em Agentes

Na simulação baseada em agentes (Simulação Baseada em Agentes (*Agent-Based Simulation*) (ABS)), o grande foco situa-se nos agentes individuais e no seu comportamento autónomo que pode tomar diversas formas dentro do contexto do sistema modelado. O sistema baseado em agentes é definido pelos agentes e as interações entre eles. Este tipo de paradigma é bastante eficaz para encontrar comportamentos não previsíveis que podem surgir a partir destas interações entre os agentes. Estes agentes num sistema de ABS têm características que os distinguem de simples entidades computacionais. Como já referido anteriormente, os agentes possuem autonomia para tomar decisões dependendo dos diferentes cenários apresentados, tendo em conta as regras programadas no sistema para esse agente. Assim, os agentes podem ser programados com comportamento de acordo com as suas características individuais, podendo assim reagir de forma diferente a eventos diferentes. Além disso, possuem *feedback*, ou seja, têm capacidade de aprender com experiências passadas e aplicar os conhecimentos adquiridos em experiências futuras. Num centro hospitalar, esta característica é fundamental para modelar o comportamento de diferentes tipos de pacientes com diferentes patologias e necessidades [11, 12].

Segundo Eric Bonabeau [11], os três principais benefícios do uso de ABS quando comparado com outros paradigmas de simulação são:

- Capacidade de capturar fenómenos emergentes que surgem a partir das interações entre os agentes.
- Descrição natural do sistema.
- Grande flexibilidade.

Este tipo de paradigma tem sido usado constantemente no contexto hospitalar/clínico para o estudo de vírus e doenças contagiosas devido à sua capacidade de modelar o comportamento dos indivíduos e as suas interações interpessoais. Porém, a ABS tem vindo a ser usada cada vez mais para outros contextos hospitalares, como no estudo de comportamentos prejudiciais à saúde, tais como o tabagismo, alimentação, álcool e atividade física, entre outros. Segundo Tracy et al. [12], os modelos baseados em agentes em saúde pública têm como principais objetivos explicar e prever resultados de saúde a nível populacional, tendo em conta a complexidade dos sistemas em que estes resultados emergem. Neste âmbito, destacam-se duas grandes vantagens da utilização de ABS:

- Capacidade de fornecer *insights* sobre os mecanismos subjacentes que dão origem aos comportamentos e resultados em saúde, bem como às desigualdades associadas.
- Possibilidade de conduzir experiências virtuais de intervenções e políticas, antecipando o seu impacto na saúde pública.

Segundo os mesmos autores, é importante encontrar o equilíbrio entre manter o modelo simples e capturar ao máximo os detalhes do sistema real. Outro desafio que é possível encontrar é a falta de dados para a parametrização dos modelos. Há também a dificuldade de estimar o nível de efeito das intervenções e, propriamente, a complexidade de modelar o sistema, que requer conhecimento nas áreas da modelação e da saúde pública.

2.2.3 Dinâmica de sistemas

A Dinâmica de sistemas (Dinâmica de Sistemas (*System Dynamics*) (SD)) é um paradigma de simulação quantitativa que permite estudar o comportamento de sistemas que contam com cadeias de eventos circulares (*loops*) [13]. Estes modelos caracterizam-se por cinco princípios fundamentais que os definem: (1) os modelos baseiam-se em estruturas causais de retroalimentação (*feedback*), (2) as acumulações e atrasos são elementos principais dos modelos, (3) os modelos são baseados em equações, (4) o conceito de tempo é contínuo, e (5) a análise foca-se na dinâmica de retroalimentação [14].

As principais diferenças entre a SD e a ABS estão apresentadas na tabela 2.1:

Tabela 2.1: Diferenças entre Dinâmica de Sistemas e Modelação Baseada em Agentes

Componente	Dinâmica de Sistemas	Modelação Baseada em Agentes
Nível de análise	Agregados/quantidades (homogeneidade)	Agentes individuais (heterogeneidade)
Unidade de análise	Estrutura do sistema	Regras dos agentes
Mecanismo crucial	<i>Feedbacks</i> entre diferentes partes do sistema	Comportamento emergente devido à interação
Blocos de construção	Equações, ciclos de <i>feedback</i> , diagramas de <i>stock</i> e fluxo	Agentes individuais e decisões (lógica)
Estrutura do sistema	Fixa	Flexível
Aplicação	Resolução de problemas	Exploração
Origem da dinâmica	Níveis	Eventos
Tratamento do tempo	Contínuo	Discreto ou contínuo

Este paradigma tem sido utilizado em diversos contextos dentro da área da saúde, nomeadamente na gestão de fluxo de pacientes, obesidade, recursos humanos e HIV/AIDS. Uma revisão sistemática de 253 artigos publicados entre 2000 e 2019 indica que a aplicação desta metodologia cresceu significativamente, especialmente após 2013, demonstrando a sua relevância para problemas complexos de saúde [15].

2.3 Modelos Híbridos de simulação

Os Modelos híbridos de simulação são modelos que combinam dois ou mais paradigmas de simulação, de forma a criar um modelo ainda mais robusto e detalhado do sistema. Este tipo de simulação pode tomar diferentes tipos e formas, pelo que atualmente não existe uma definição formal. Normalmente, estes modelos utilizam pelo menos dois paradigmas de simulação diferentes [16].

Segundo Brailsford et al. [17], existem quatro abordagens principais para desenvolver modelos híbridos:

- **Sequencial:** os modelos executam sequencialmente, onde a saída de um modelo serve como entrada para o outro;
- **Enriquecimento (*Enriching*):** um método primário utiliza recursos limitados do outro paradigma;
- **Interação:** dois sub-modelos diferentes interagem entre si durante a execução;
- **Integração:** os paradigmas são totalmente integrados, funcionando como uma unidade única sem distinção clara entre métodos.

Embora a combinação de paradigmas traga diversas vantagens, como referido anteriormente, esta também pode trazer alguns desafios que devem ser tidos em conta. Os Modelos híbridos tendem a aumentar muito a complexidade e, consequentemente, o tempo de computação necessário para a execução do modelo, o que, em muitos casos, pode ser um obstáculo à sua utilização se o tempo de resposta for crítico [18].

Na área da saúde, este tipo de modelos revelam-se uma peça fundamental para mitigar limitações que o uso de um único paradigma não consegue resolver. Na tabela 2.2 são apresentados alguns exemplos de trabalhos que aplicaram métodos de simulação únicos, anteriormente vistos, para resolver problemas na área da saúde.

Tabela 2.2: Exemplos de trabalhos que aplicaram métodos de simulação únicos. (Adaptado de:[19])

Categoria	Método	Problema principal
Gestão hospitalar	SD	Avaliar o tempo de espera num serviço de urgências através do teste de hipóteses relacionadas com restrições de capacidade de camas.
	DES	Melhorar o agendamento de consultas num centro de ambulatório.
	DES	Melhorar a gestão de centro cirúrgico em um hospital, com um histórico de baixo volume de cirurgias como consequência da restrição de capacidade.
Gestão de doenças	ABS	Estudar a dinâmica de transmissão de Tuberculose e o papel de várias redes de contacto através de uma população hierarquicamente estruturada.
	SD	Estudar a dinâmica de infeção por Chlamydia dentro de uma população, incorporando o comportamento de diferentes grupos de risco.
Planeamento do sistema de saúde	DES	Avaliar mudanças em protocolos que abordam a prestação de cuidados de Acidente Vascular Cerebral (AVC), levando à morte e incapacidade grave a longo prazo.
	SD	Analisar o fluxo dinâmico de pacientes idosos no sistema de saúde irlandês e como isso afeta a procura dos serviços de saúde.

Apesar dos exemplos apresentados na tabela 2.2 demonstrarem o potencial de cada paradigma individualmente, os sistemas de saúde são caracterizados por uma forte interdependência entre componentes, onde alterações numa área tendem a gerar impactos noutras [20]. Tendo estes fatores em conta, é necessário realizar uma análise de forma a perceber se a utilização de modelos híbridos poderá trazer benefícios adicionais para o sistema modelado quando comparado com a utilização de um único paradigma ou se a complexidade acrescida não justifica a sua utilização.

Segundo Kar et al. [20], aproximadamente 52% dos trabalhos realizados com modelos híbridos em saúde utilizam a combinação DES-SD, refletindo a necessidade frequente de integrar perspetivas operacionais e estratégicas. No entanto, a inclusão de ABS está em crescimento, particularmente em estudos que requerem modelação de comportamentos heterogêneos de pacientes e profissionais de saúde.

2.4 Casos de Estudo - Simulação Baseada em Agentes: Setor da Saúde

Serão apresentados na tabela 2.3 alguns casos de estudo relevantes que aplicaram a simulação baseada em agentes no âmbito da saúde. Estes estudos demonstram o potencial da simulação baseada em agentes como ferramenta de apoio à decisão neste setor para problemas complexos.

Tabela 2.3: Casos de estudo: Simulação Baseada em Agentes (SBA) na Saúde

Autor / Obra	Local	Objetivo	Resultados da Simulação (Foco nos Agentes)
Comis et al. [21]	Alemanha (Cuidados Primários)	Analisar o impacto do envelhecimento e da oferta de médicos na qualidade do serviço.	O modelo híbrido (<i>SiM-Care</i>) simulou micro-interações e projetou que o envelhecimento da população de agentes aumentaria os tempos de espera mais drasticamente do que a falta de médicos.
Schlüter et al. [22]	África do Sul (Sistema Nacional)	Avaliar o colapso hospitalar considerando a interação entre COVID-19 e comorbilidades (TB/HIV).	A simulação demonstrou que a dinâmica de interação entre agentes com TB/HIV e COVID-19 gera um pico de procura por cuidados intensivos superior à capacidade instalada.
Day et al. [23]	EUA (St. Louis, VA System)	Desenvolver um modelo de agentes para simular a progressão da retinopatia diabética numa coorte de veteranos.	A Simulação (501 agentes) reproduziu fielmente os dados clínicos reais. Após 10 anos simulados, os agentes sobreviventes apresentaram uma incidência significativamente maior de RD Proliferativa, o que validou o modelo para prever procura futura de tratamentos.

Continua na página seguinte

Tabela 2.3 – Continuação da página anterior

Autor / Obra	Local	Objetivo	Resultados da Simulação (Foco nos Agentes)
Patel et al. [24]	EUA (Carolina do Norte)	Avaliar o impacto conjunto da vacinação e Intervenções Não Farmacêuticas (NPIs).	O modelo (1M+ agentes) revelou disparidades demográficas: no pior cenário sem NPIs, agentes <i>African American</i> sofreram maior mortalidade comparados aos agentes <i>caucasianos</i> . A manutenção de NPIs reduziu infecções mesmo com baixa vacinação.
Yousefi et al. [25]	Brasil (Minas Gerais / Genérico)	Melhorar o desempenho da urgência para que o staff tome decisões de alocação em grupo.	A simulação dotou os agentes (staff) de capacidade de negociação. Esta autorganização resultou numa redução média de 12,7% no tempo de espera e 14,4% nas desistências, aumentando as altas em 11,5%.
Singh et al. [26]	Espanha (Madrid)	Comparar eficácia de estratégias de vacinação na redução de contágios e mortes.	O simulador <i>EpiGraph</i> projetou que vacinar agentes idosos com intervalo estendido (56 dias) resultaria numa redução adicional de 6% nas infecções e 3% nos óbitos.
Cabrera et al. [27]	Catalunha (Espanha)	Desenvolver um simulador baseado em agentes para otimizar a configuração do <i>staff</i> em serviços de urgência hospitalares.	O modelo identificou configurações ótimas de pessoal para diferentes taxas de chegada de pacientes, concluindo que equipas ligeiramente mais dispendiosas podem reduzir significativamente a variabilidade dos tempos de espera (CV de 10% vs 35%).

Continua na página seguinte

Tabela 2.3 – Continuação da página anterior

Autor / Obra	Local	Objetivo	Resultados da Simulação (Foco nos Agentes)
Laskowski et al. [28]	Winnipeg (Canadá)	Simular a propagação de infecções tipo gripe num serviço de urgência e avaliar estratégias de controlo da infeção.	Os resultados mostraram que as políticas orientadas aos pacientes (máscaras e encaminhamento alternativo) são mais eficazes que as focadas nos profissionais de saúde, sendo o encaminhamento de pacientes sintomáticos de baixa prioridade a intervenção com maior impacto (-5,08% de infeções).

Os estudos apresentados na tabela 2.3 demonstram a diversidade de aplicações da simulação baseada em agentes na área da saúde, e que este paradigma pode mostrar-se como uma ferramenta poderosa na tomada de decisão para uma área tão crucial como a saúde pública, onde as decisões podem ter um impacto direto na vida de muitas pessoas. Os estudos conseguiram demonstrar melhorias significativas nos sistemas modelados, seja na redução dos tempos de espera, na otimização de recursos ou na melhoria dos resultados de saúde. Estes resultados reforçam a importância de continuar a investir em ABS para o auxílio na tomada de decisão no setor da saúde.

2.5 Casos de Estudo - Simulação Baseada em Agentes: Evacuação Setor da Saúde

De forma a solidificar a importância da simulação baseada em agentes no trabalho a ser desenvolvido, serão explorados em seguida alguns casos de estudos já realizados que aplicaram a simulação baseada em agentes no contexto da evacuação de centros hospitalares.

Um estudo realizado no Departamento de emergência da Universidade Johns Hopkins na cidade de Baltimore nos Estados Unidos, utilizou a ABS através do software NetLogo, uma ferramenta *open source* muito usada para a modelação de sistemas baseados em agentes, de modo a analisar como os protocolos de isolamento e as necessidades especiais de pacientes com COVID-19 afetam o tempo e a segurança da evacuação em cenários de emergência [29]. Os autores definiram diversos tipos de agentes baseados na diferente mobilidade que estes pacientes podiam apresentar, como deficientes visuais/auditivos, utilizadores de cadeiras de rodas, pacientes acamados e pacientes com problemas mentais ou sem deficiência. Assumindo um cenário de

incêndio ao meio-dia (horário de maior afluência de pacientes), onde 4 tipos de cenários diferentes foram testados sendo estes:

- Evacuação padrão antes do surto de COVID-19;
- Intervenção 1: Pacientes com COVID-19 foram isolados e evacuados por último tendo em conta os recursos atuais do hospital;
- Intervenção 2: Aumento da equipa de enfermeiros quando comparado com a intervenção 1;
- Intervenção 3: Criação de uma unidade específica com uma porta de saída dedicada para os pacientes afetados com COVID-19.

Os resultados obtidos demonstraram que o surto de COVID-19 aumentou significativamente o tempo de evacuação, porém a implementação de certas estratégias foram capazes de mitigar este aumento. Inicialmente, a presença de pacientes com COVID-19 duplicou o tempo mediano de evacuação que passou de 26 minutos (pré-COVID) para 50 minutos (Intervenção 1). Com o aumento da equipa de enfermeiros (Intervenção 2) o tempo mediano conseguiu ser reduzido para 32 minutos (36% de redução), esta estratégia revelou ser a mais eficaz na redução do tempo mediano de evacuação. Por fim, a criação da porta dedicada (Intervenção 3) possibilitou a redução do tempo mediano para 41 minutos, o que demonstra uma pior eficácia quando comparada com a Intervenção 2, porém esta estratégia permitiu reduzir o pior cenário possível de evacuação onde o tempo estimado máximo desceu de 118 minutos para 55 minutos. Este estudo demonstra que a melhor estratégia para minimizar o tempo médio de evacuação é aumentar a equipa hospitalar, porém se o objetivo for minimizar o pior cenário possível a melhor estratégia passaria por criar uma porta de saída dedicada exclusivamente aos pacientes com COVID-19 [30].

Outro estudo aplicou a ABS no contexto da evacuação hospitalar, onde foram incluídos agentes que representavam pacientes com mobilidade reduzida ou deficiências (físicas e cognitivas). Este estudo contou com a integração do método de Monte Carlo, uma técnica que utiliza a amostragem aleatória, bem como a modelação estatística, de forma a estimar funções matemáticas e, assim, reproduzir as operações de sistemas complexos [31]. Para o efeito, os autores utilizaram o software Pathfinder, um *software* desenvolvido pela Thunderhead Engineering especializado em evacuações e movimento humano, para simular a evacuação horizontal da ala hospitalar do 10º andar de um hospital [32]. Foram definidos diferentes grupos de movimentos para os agentes como, por exemplo, visitantes que se recusaram a sair sem o seu paciente familiar. O método de Monte Carlo foi utilizado com o objetivo de gerar uma distribuição de probabilidades dos tempos de evacuação, dado que o comportamento dos agentes é imprevisível. Os resultados obtidos demonstraram um tempo médio de evacuação de aproximadamente 646 segundos (aproximadamente 11 minutos), tendo

em conta um intervalo de tempo que variou entre 499 segundos (melhor caso) e 805 segundos (pior caso). Este estudo propõe ainda que, para uma evacuação inclusiva, é necessário usar o 99º percentil do tempo de evacuação inclusiva ao invés do tempo médio, o valor do 99º percentil obtido foi de 809,1 segundos. Em suma, este estudo demonstra que é importante considerar a diversidade da população hospitalar ao planejar a evacuação, de forma a garantir que todos os pacientes sejam evacuados de forma segura e eficiente, bem como a importância de considerar várias simulações de modo a obter uma representação mais realista do tempo de evacuação [33].

Adicionalmente, um estudo realizou a simulação da evacuação do Hospital Civil Viejo Fray Antonio Alcalde, localizado na cidade de Guadalajara, México, de forma a criar um modelo que conseguisse espelhar com precisão o comportamento humano durante as evacuações, além do simples movimento dos agentes, e encontrar comportamentos de stress, como desorientação, histeria e acidentes, que pudessem afetar o tempo da evacuação. Além disso, este estudo também teve como objetivo identificar zonas possíveis de risco durante a evacuação, de forma a facilitar o planeamento. Cinco regras de comportamento foram definidas para os agentes:

- **Regra do movimento:** O movimento dos agentes é feito para a célula vizinha que esteja mais próxima da saída.
- **Regra da estagnação:** Caso o agente fique preso num certo local, o modelo aumenta artificialmente o custo/distância daquela posição, de forma a forçar o agente a procurar outro caminho.
- **Regra de Acidente:** O agente sofre um acidente e torna-se um obstáculo para os outros agentes.
- **Regra de Histeria:** O agente entra em estado de stress e para de se mover durante um certo período de tempo, o que o torna um obstáculo temporário para os outros agentes.
- **Regra de Desorientação:** O agente perde a noção do caminho inicial por um tempo.

A simulação realizada no hospital, através de um conjunto de 1500 agentes, demonstrou que o tempo de evacuação era de cerca de 3,31 minutos. Em comparação, um teste real realizado no hospital levou a um tempo de evacuação de 10 minutos. Esta diferença deveu-se ao facto de que, neste modelo, não foram tidos em conta os pacientes acamados ou com limitações físicas porém, permitiu identificar com sucesso zonas de risco durante a evacuação que podiam criar congestionamento [34].

Por fim, um estudo realizado sobre a evacuação de hospitais no Sri Lanka, de forma a avaliar como o ambiente físico de uma enfermaria geral afeta os cenários de evacuação em situações de emergência, conclui que introduzir uma saída adicional,

diminuiu o tempo de evacuação entre os diferentes cenários testados. Neste estudo, a população foi modelada em quatro grupos de agentes com diferentes velocidades de movimento, pacientes com mobilidade, pacientes críticos que necessitam de assistência/cadeira de rodas e visitantes que têm menor conhecimento do layout do edifício. Os cenários testados foram os seguintes:

- **Cenário 1:** Cenário base onde só existe uma única saída conhecida.
- **Cenário 2:** Adição de uma segunda saída no layout do edifício.
- **Cenário 3:** Adição de uma segunda saída em conjunto com um funcionário para guiar os agentes.

Como referido anteriormente, o cenário que apresentou o menor tempo de evacuação foi o cenário 2, onde foi adicionada uma segunda saída. O cenário 3 revelou-se menos eficiente, pois o funcionário que guiava os pacientes interrompia um dos lados do corredor para deixar passar o outro, o que criava algum congestionamento [35].

2.6 A Simulação no contexto da Indústria 4.0

A Indústria 4.0 é a quarta revolução industrial, caracterizada pela mudança no paradigma da produção industrial, que ocorreu com a combinação de tecnologias da Internet com objetos inteligentes, sejam estas máquinas ou produtos. O principal objetivo desta revolução é a criação de produtos individuais e personalizados, através da combinação de tecnologias digitais. A Indústria 4.0 não trouxe apenas mudanças na produção industrial, mas também a nível organizacional, desde a mudança do foco no produto para o foco no serviço, aos novos modelos de negócio e à integração do sistema físico com o *software* [36]. No contexto da saúde observou-se a chegada da saúde 4.0, que visa a integração de tecnologias digitais para melhorar a prestação de cuidados de saúde e traz inúmeras vantagens tais como a monitorização em tempo real e a utilização de algoritmos para melhorar a deteção e diagnóstico de doenças [37].

Nesta revolução, a simulação tem um papel fundamental. Segundo Silvestri [38], a simulação é a ferramenta com maior impacto na Indústria 4.0 para o planeamento de *layout* de plantas, dado que permite aos *designers* testar vários cenários com diferentes condições, de modo a testar a funcionalidade deste *layout* antes de ser implementado no mundo real. Esta capacidade de encontrar o melhor cenário possível e torná-lo posteriormente real é fundamental para permitir a completa digitalização dos processos industriais, o que torna a simulação uma tecnologia cada vez mais importante [39].

Porém, a simulação também sofreu mudanças com a chegada da Indústria 4.0, nomeadamente com a introdução do conceito de *digital twin* que é a ideia de criar

uma cópia digital de um sistema físico, ligando o sistema virtual ao sistema físico de forma a coletar, analisar e simular dados para melhorar a performance do sistema físico. Este conceito, introduzido pela chegada da Indústria 4.0, tem vindo a evoluir de uma virtualização simples para sistemas mais complexos com dados em tempo real e *machine learning* [40].

2.7 Legislação associada à evacuação de edifícios hospitalares

É fundamental compreender a legislação portuguesa associada à evacuação, e em especial à evacuação de edifícios hospitalares, de forma a garantir que o modelo desenvolvido esteja em conformidade com todas as regras e regulamentos aplicáveis ao contexto.

Atualmente, o regime jurídico da segurança contra incêndios em edifícios (Segurança Contra Incêndios em Edifícios (SCIE)) em Portugal assenta no Decreto-Lei n.º 220/2008, na sua redação atual, conjugado com o Regulamento Técnico de SCIE, aprovado pela Portaria n.º 1532/2008, igualmente na sua redação atual, com as alterações introduzidas, designadamente, pela Portaria n.º 135/2020 [41, 42, 43]. De acordo com esta regulamentação, os hospitais são classificados como edifícios de utilização tipo V, sendo que as zonas de internamento e tratamento intensivo são designadas como locais de risco D, o que implica exigências de segurança mais rigorosas devido à limitada mobilidade dos ocupantes.

A grande diferença na evacuação de edifícios hospitalares reside no facto de que, por norma, nestes edifícios não se realiza a evacuação tradicional imediata de todos os ocupantes para o exterior. Em contexto hospitalar, privilegia-se a evacuação horizontal progressiva para zonas de segurança adjacentes (outro compartimento de fogo). Estas zonas devem estar projetadas e isoladas com elementos de construção resistentes ao fogo (paredes e portas corta-fogo), de forma a permitir que as camas/macas sejam movidas para uma área protegida de socorro ou posterior evacuação vertical, se necessário.

Existem ainda regras estritas quanto a distâncias e dimensionamento das vias de evacuação. Para locais de risco D, a legislação estipula que a distância a percorrer de qualquer ponto até uma saída não deve exceder os 10 metros em impasse, ou 20 metros caso existam vias de evacuação alternativas [43].

Adicionalmente, as portas resistentes ao fogo localizadas nas vias de circulação devem estar equipadas com sistemas que libertam as portas para que estas fechem automaticamente, garantindo a compartimentação. Embora os elevadores não sejam, por regra, meios de evacuação, em ambiente hospitalar podem ser utilizados para a evacuação de acamados, desde que cumpram requisitos rigorosos de isolamento e alimentação de energia.

2.8 Panorama científico

De forma a compreender o atual panorama científico dos estudos relacionados com o uso de simulação baseada em agentes no contexto da saúde, procedeu-se à realização de uma pesquisa na base de dados Scopus, no dia 3 de dezembro de 2025, através dos seguintes termos de pesquisa: (TITLE-ABS-KEY(("Agent-based simulation"OR "Agent-based modeling") AND ("Hospital"OR "Healthcare"))) AND PUBYEAR > 2009 AND PUBYEAR < 2025 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE,"ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE,"cp") OR LIMIT-TO (DOCTYPE,"ch")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE,"English"))). Este filtro permitiu obter um total de 445 resultados, entre artigos, conferências e capítulos de livros, publicados entre 2010 e 2024 em inglês. Como podemos ver na Figura 2.1, o número de publicações aumentou consideravelmente nos últimos 4 anos, cerca de 84% quando comparado com o ano inicial da pesquisa e o último, o que demonstra o crescente interesse da comunidade científica no estudo da utilização da simulação baseada em agentes no contexto da saúde.

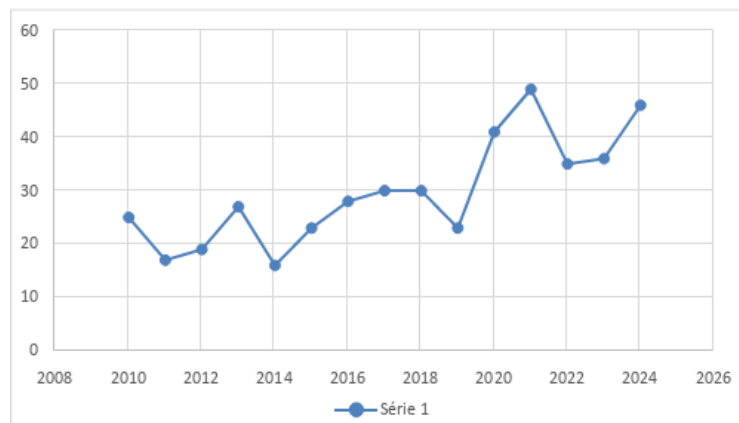


Figura 2.1: Número de publicações por ano sobre simulação baseada em agentes no contexto da saúde (2010-2024).

Os principais países de origem dos artigos são os Estados Unidos (142), o Reino Unido (52) e o Canadá (42), como podemos ver na Figura 2.2, o que revela um maior interesse dos países da América do Norte no estudo da simulação baseada em agentes no contexto da saúde.

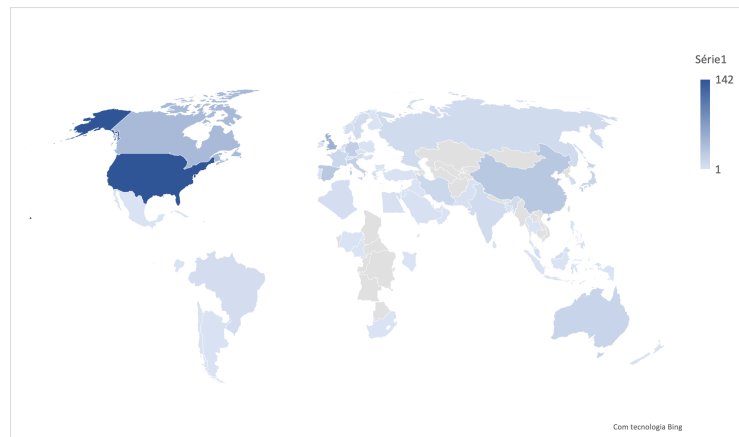


Figura 2.2: Países de origem dos artigos sobre simulação baseada em agentes no contexto da saúde (2010-2024).

No total dos 445 estudos encontrados, aproximadamente metade dos resultados (51%) são artigos, seguidos de artigos de conferência e capítulos de livros, como podemos ver na Figura 2.3.

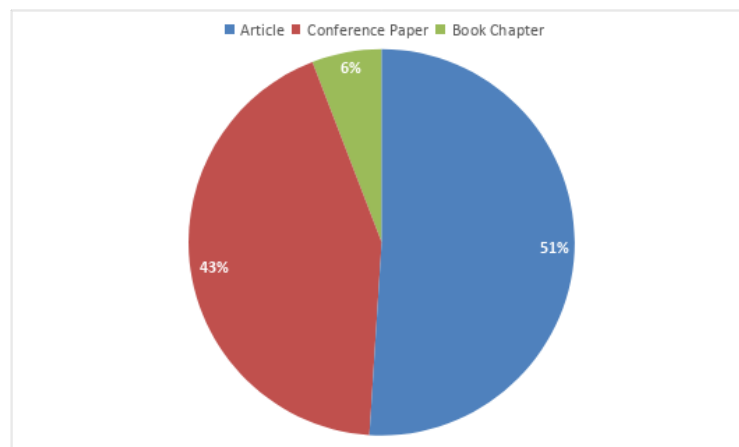


Figura 2.3: Tipos de publicações sobre simulação baseada em agentes no contexto da saúde (2010-2024).

2.9 Conclusões da Literatura

Durante este capítulo, foi possível compreender o que é a simulação, os seus diferentes paradigmas e a sua importância como ferramenta de apoio à decisão, nomeadamente no contexto da saúde. Os conceitos abordados neste capítulo servirão como uma base fundamental para o trabalho que será desenvolvido nos capítulos seguintes desta dissertação.

Os paradigmas abordados foram a simulação discreta de eventos, a simulação baseada em agentes e a dinâmica de sistemas onde foram exploradas as suas principais características, vantagens e desvantagens, assim como os seus principais contextos de

aplicação na área da saúde. A simulação discreta de eventos revelou-se um paradigma bastante eficaz para modelar processos hospitalares e clínicos, enquanto a dinâmica de sistemas tem sido utilizada para estudar o comportamento de sistemas complexos na área da saúde, nomeadamente na gestão de fluxo de pacientes e recursos humanos.

A simulação baseada em agentes revelou-se um paradigma essencial para o desenvolvimento de modelos de simulação no contexto da saúde, devido à sua capacidade de modelar o comportamento individual dos agentes, bem como as suas diferenças e interações. Através da análise dos casos de estudo no contexto da saúde, tanto no contexto geral como no contexto da evacuação hospitalar, foi possível concluir que, através da ABS, é possível obter melhorias significativas nos sistemas modelados, seja na redução dos tempos de espera, na otimização de recursos ou na melhoria dos resultados de saúde. Isto reforça a importância de continuar a investir na ABS como ferramenta de apoio à decisão no setor da saúde.

Adicionalmente, foi estudada a legislação portuguesa associada à evacuação de edifícios hospitalares, de forma a garantir que o futuro modelo a ser desenvolvido esteja em conformidade com todas as regras e regulamentos aplicáveis a este contexto.

Capítulo 3

Ferramenta de apoio à decisão

Este capítulo tem como objetivo apresentar o trabalho desenvolvido, mais precisamente a simulação da evacuação do HDM, elaborada no software Pathfinder, descrevendo os diferentes cenários utilizados, assim como todos os procedimentos seguidos.

3.1 O Sistema real

O Hospital de Dia Médico do Hospital de São Sebastião localiza-se atualmente no antigo refeitório do Hospital, tendo sido ligeiramente adaptado na altura da pandemia COVID-19 de modo a conseguir cumprir com as necessidades de um Hospital de Dia Médico, mais concretamente a adição de duas boxes de tratamento. Atualmente, este espaço é partilhado por outras especialidades, Clínica de Insuficiência Cardíaca e a Unidade de Ambulatório de Medicina Interna. O espaço conta com um corredor/sala de espera e uma sala principal, onde se encontram as cadeiras para os pacientes. A admissão de pacientes é feita na entrada da sala principal, como se pode verificar na figura 3.1. Na figura 3.2 é possível ver que o Hospital de Dia Médico conta com duas saídas de emergência possíveis para os pacientes, uma localizada na sala principal que dá acesso ao exterior do edifício e outra localizada na porta de entrada para o Hospital de Dia Médico que dá acesso a um corredor que faz a ligação a outras áreas do hospital, nomeadamente a uma zona de elevadores e à entrada principal do hospital.

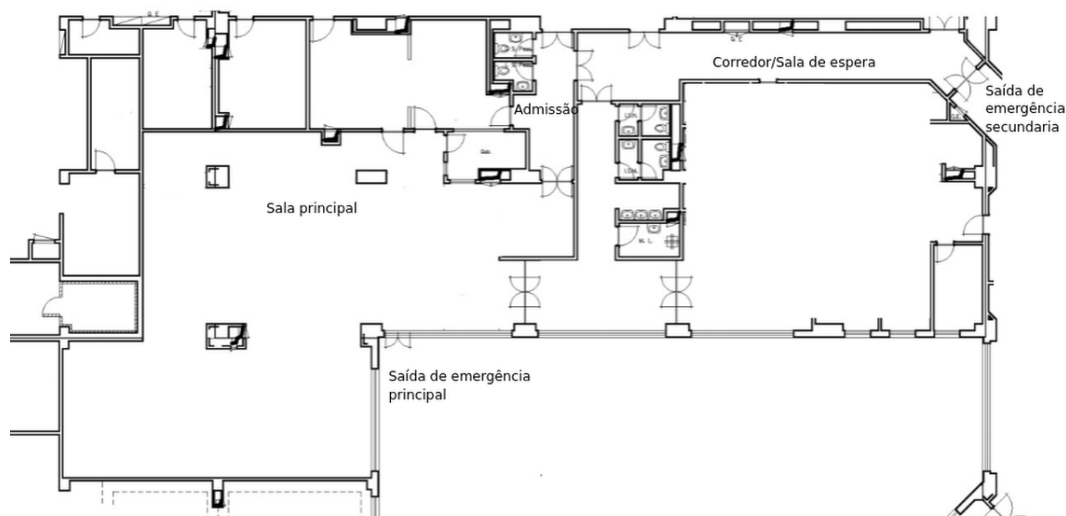


Figura 3.1: Planta do Hospital de Dia Médico do Hospital de São Sebastião.



Figura 3.2: Planta de emergência do Hospital de Dia Médico do Hospital de São Sebastião.

Este espaço conta com um total de 29 cadeirões (13 cadeirões pertencentes ao Hospital de Dia Médico), 3 camas, duas boxes de tratamento e conta ainda com áreas de apoio, incluindo zona de admissão, gabinetes médicos, zona de registos de enfermagem, armazém, sala de arrumos e instalações sanitárias. Este espaço conta com uma equipa permanente de 6 enfermeiros (2 pertencentes ao Hospital de Dia Médico), 2 assistentes operacionais (1 do Hospital de Dia Médico), 1 administrativa e 3 médicos internistas. No que toca à população atendida, o HDM atualmente

comporta cerca de 20 a 30 pacientes em simultâneo (por momento). Este número tem vindo a aumentar nos últimos anos, refletindo-se de forma mais expressiva no número de sessões por paciente, o que indica uma maior intensidade nos tratamentos e coloca uma pressão adicional na gestão das vagas.

No contexto hospitalar é importante destacar que os pacientes tendem a ser mais vulneráveis e a necessitar de mais tempo para se deslocarem, o que pode ter um impacto significativo nos tempos de evacuação. A velocidade média de deslocamento dos pacientes é assim mais baixa do que a velocidade média de deslocamento de uma pessoa saudável (1,4 m/s), fator este que deve ser tido em conta na construção do modelo de simulação, nomeadamente na definição das velocidades de deslocamento dos pacientes e dos funcionários do hospital. Para os utentes considerou-se uma velocidade média de deslocamento de 0,8 m/s com um desvio padrão de 0,25 m/s, valor compatível com estudos em idosos hospitalizados [44, 45].

3.2 Construção do modelo de simulação

A construção do modelo de simulação começou inicialmente por uma fase de ajuste da planta do Hospital de Dia Médico, tendo sido necessário realizar algumas adaptações para representar o espaço de forma mais realista. Para isso, foi necessário adicionar boxes de tratamento que ainda não existiam na planta original, assim como ajustar as proporções gerais da planta, dado que a planta original não se encontrava com a escala correta. De forma a obter a real proporção da planta, foi necessário utilizar o Google Maps para medir o comprimento da fachada do HDM, como se pode ver na figura 3.3, e assim conseguir ajustar a escala da planta no AutoCAD.



Figura 3.3: Medição da fachada do HDM no Google Maps.

Após a fase de ajuste da planta, foi feita a importação da planta para o software Pathfinder. Esta importação foi feita através do botão de importação no topo da interface do software, como se pode ver na figura 3.4. A seguir, foi necessário selecionar o ficheiro da planta, assim como as unidades de medida utilizadas no AutoCAD.

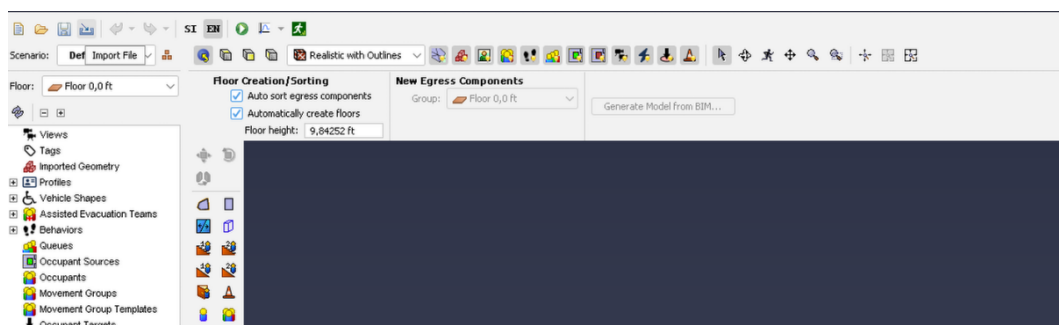


Figura 3.4: Importação da planta para o Pathfinder.

Com a planta já importada para o Pathfinder, foi necessário definir as diferentes áreas/zonas do Hospital de Dia Médico do Hospital de São Sebastião, processo que pode ser feito através da criação manual das zonas ou através da colocação de portas que automaticamente criam as diferentes divisões do hospital. Como se pode ver na figura 3.5, foram criadas as seguintes zonas: sala de espera, sala principal, box 1, box 2, corredor de admissão entre outras zonas.

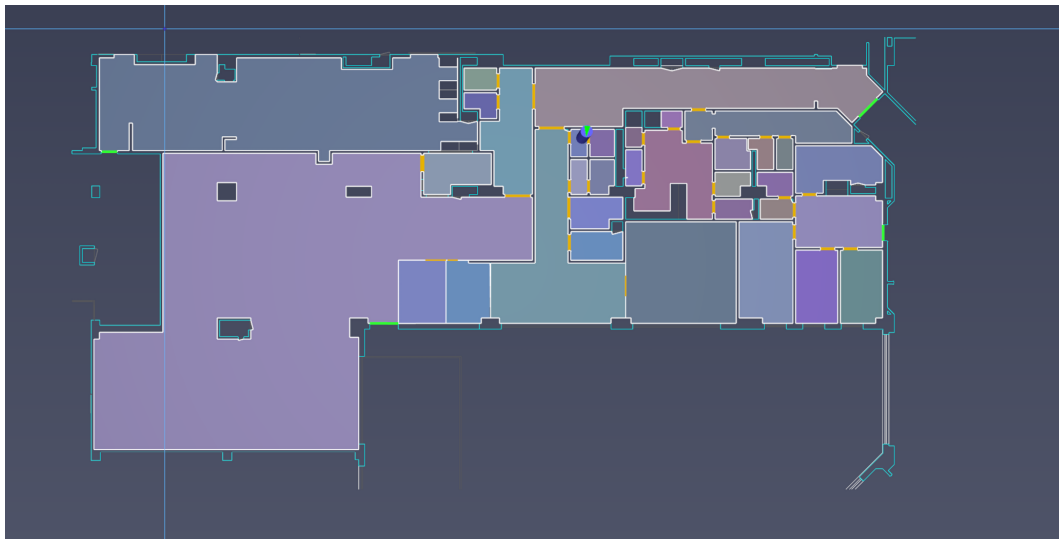


Figura 3.5: Definição das zonas do Hospital de Dia Médico do Hospital de São Sebastião.

3.3 Validação do modelo

De forma a validar o modelo de simulação, foram recolhidos dados de tempos de deslocamento, mais concretamente tempos de deslocamento entre uma sala/corredor e saída de emergência principal do Hospital de Dia Médico do Hospital de São Sebastião. A tabela 3.1 apresenta os tempos de deslocamento recolhidos no local e a respetiva comparação com os tempos de deslocamento obtidos no modelo de simulação para os mesmos trajetos e a usar uma velocidade média de deslocamento de 1,4 m/s com um desvio padrão de 0,20 m/s.

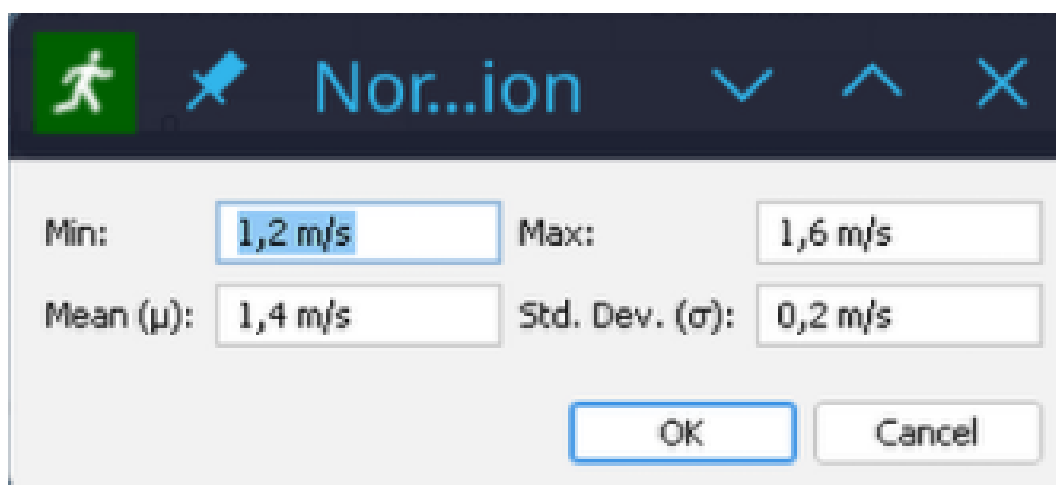
Tabela 3.1: Comparação dos tempos de deslocamento entre o modelo e a realidade.

Local inicial	Modelo (s)	Real (s)	Erro percentual (%)
Saída secundária à saída principal	21,3	22,2	4,05
Corredor admissão	10,5	11,3	7,08
1 ^a casa de banho	13,8	14,2	2,82
Ponta da sala principal	5,5	6,0	8,33
Porta admissão saída secundária	11,3	12,0	5,83

Da análise da tabela 3.1, verifica-se que os valores obtidos no modelo da simulação apresentam uma diferença relativamente baixa em comparação com os tempos medidos no local, o que indica que o modelo construído e sujeito a verificação da escala consegue representar de uma forma realista os tempos de deslocamento dos pacientes, podendo concluir-se que, este modelo pode ser usado para simular os diferentes cenários de evacuação do espaço.

3.4 Cenários de evacuação

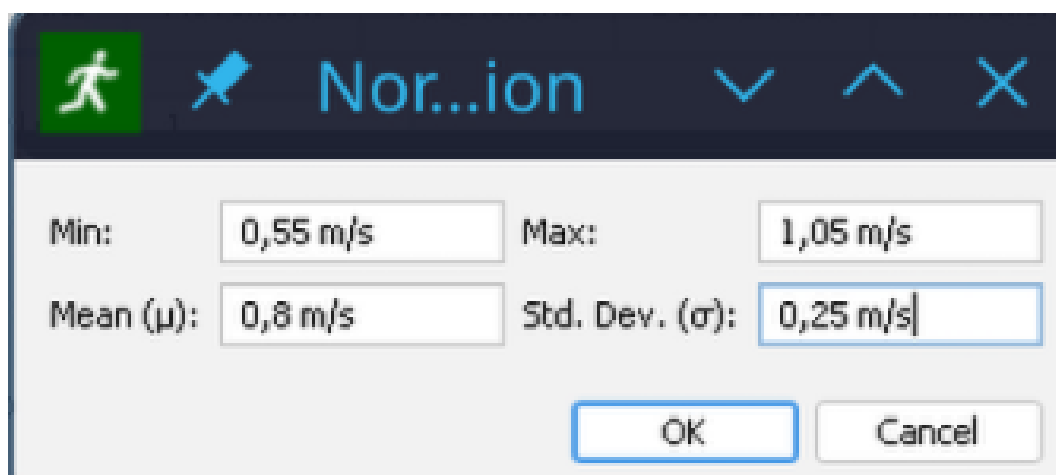
De forma a avaliar o impacto de diferentes fatores na evacuação do Hospital de Dia Médico do Hospital de São Sebastião, foram criados diferentes cenários de evacuação no software Pathfinder, tendo sempre em conta as características dos pacientes e dos funcionários do hospital já anteriormente descritos. Como se pode verificar na figura 3.6, foi criado um perfil específico para os funcionários do hospital, com uma velocidade média de deslocamento equivalente de 1,4 m/s e um desvio padrão de 0,20 m/s, enquanto que para os pacientes foi criado um perfil com uma velocidade média de deslocamento de 0,8 m/s e um desvio padrão de 0,25 m/s, conforme demonstrado na figura 3.7.



The screenshot shows a dialog box titled 'Nor...ion' with a green walking icon and a blue arrow icon. It contains four input fields: 'Min:' with '1,2 m/s', 'Max:' with '1,6 m/s', 'Mean (μ):' with '1,4 m/s', and 'Std. Dev. (σ):' with '0,2 m/s'. There are 'OK' and 'Cancel' buttons at the bottom.

Field	Value
Min:	1,2 m/s
Max:	1,6 m/s
Mean (μ):	1,4 m/s
Std. Dev. (σ):	0,2 m/s

Figura 3.6: Perfil dos funcionários do hospital.



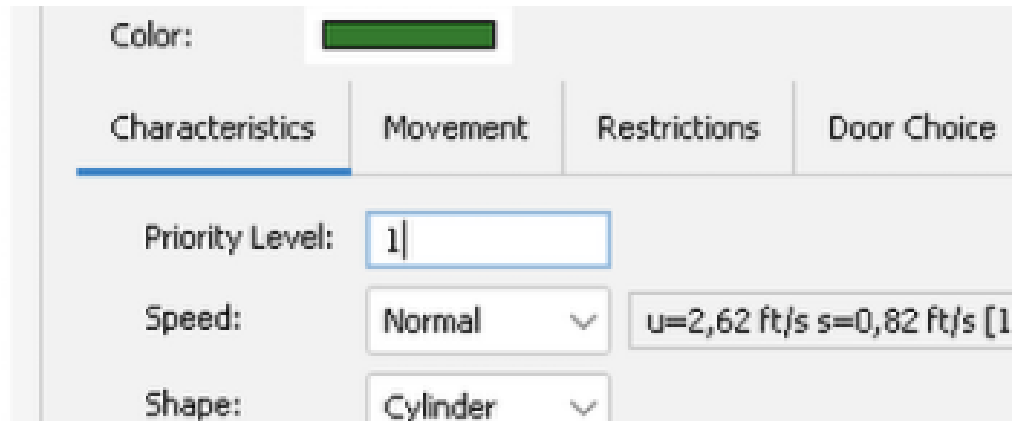
The screenshot shows a dialog box titled 'Nor...ion' with a green walking icon and a blue arrow icon. It contains four input fields: 'Min:' with '0,55 m/s', 'Max:' with '1,05 m/s', 'Mean (μ):' with '0,8 m/s', and 'Std. Dev. (σ):' with '0,25 m/s'. There are 'OK' and 'Cancel' buttons at the bottom.

Field	Value
Min:	0,55 m/s
Max:	1,05 m/s
Mean (μ):	0,8 m/s
Std. Dev. (σ):	0,25 m/s

Figura 3.7: Perfil dos pacientes do hospital.

Além das velocidades de deslocamento, também foi definida a prioridade em caso de acontecer uma situação onde haja cruzamento entre um paciente e um funcionário

do Hospital, tendo sido definida uma maior prioridade para os pacientes, como se pode ver na figura 3.8, estando assim os funcionários do hospital obrigados a ceder a passagem aos pacientes.



The image shows a software configuration window with a 'Color' dropdown set to green. Below it are four tabs: 'Characteristics', 'Movement', 'Restrictions', and 'Door Choice'. The 'Characteristics' tab is active. It contains three settings: 'Priority Level' is a text input field containing the number '1'; 'Speed' is a dropdown menu set to 'Normal', with a calculated speed value displayed as $u=2,62 \text{ ft/s}$ and $s=0,82 \text{ ft/s}$ [1]; 'Shape' is a dropdown menu set to 'Cylinder'.

Figura 3.8: Definição de prioridade entre pacientes e funcionários.

Além dos perfis dos pacientes e dos funcionários, foi criado um perfil adicional para os visitantes. Este apresenta parâmetros de velocidade de deslocamento equivalentes aos do pessoal do hospital, porém com uma prioridade superior como se pode ver na figura 3.9. Esta configuração obriga os funcionários a cederem passagem aos visitantes em caso de cruzamento entre ambos durante a evacuação.

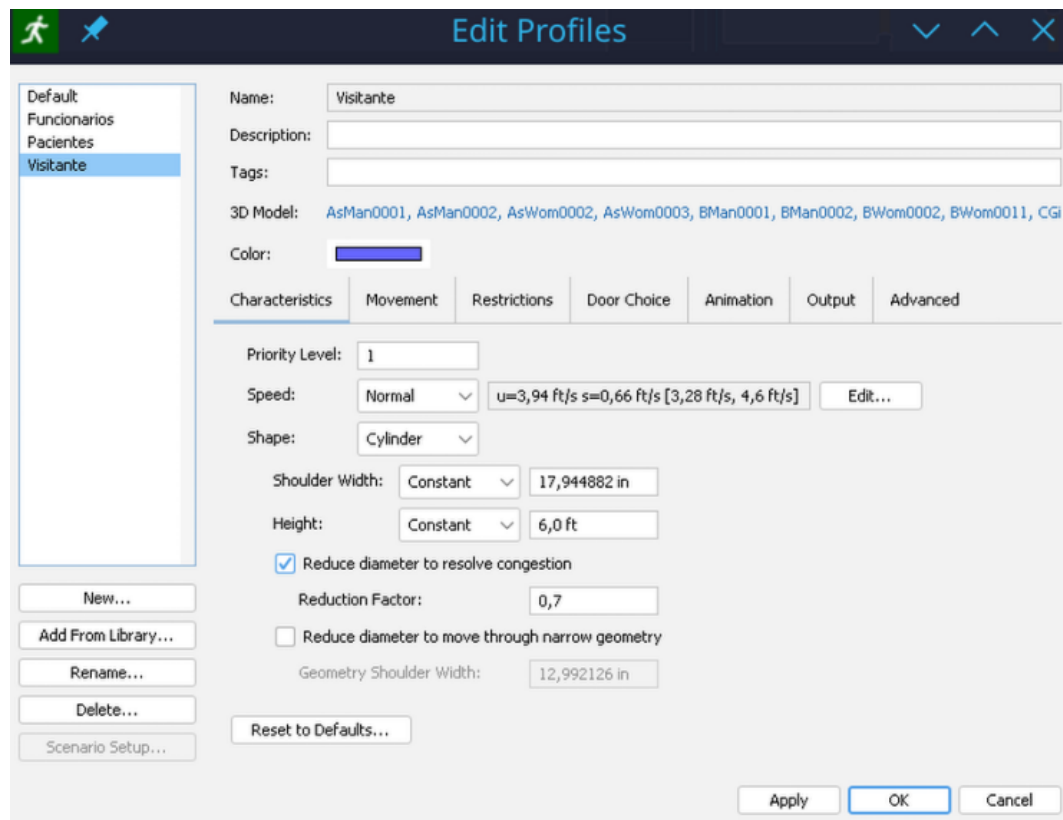


Figura 3.9: Perfil dos visitantes do hospital.

3.4.1 Cenário 1: Evacuação em estado normal

O cenário 1 tem como objetivo simular a evacuação do Hospital de Dia Médico do Hospital de São Sebastião em condições normais e sem quaisquer pacientes com problemas de mobilidade que necessitem de assistência. Isto pressupõe uma ocupação média de pacientes e a presença total dos funcionários, sem quaisquer alterações no espaço ou nas rotas de saída. Este exercício permite avaliar os tempos de resposta em condições padrão, de forma a identificar mais-valias ou pontos críticos a considerar em outros cenários de emergência. Como se pode verificar na figura 3.10, a evacuação de todos os ocupantes do espaço é feita pela saída de emergência principal, localizada na sala principal do Hospital de Dia Médico, excetuando os funcionários que se encontrem em zonas sem acesso direto a esta saída.



Figura 3.10: Cenário 1: Evacuação em estado normal.

A tabela 3.2 e a figura 3.11 demonstram os resultados obtidos neste primeiro cenário, apresentando as principais métricas de evacuação, nomeadamente o tempo total de evacuação, o tempo médio de saída por pessoa e a distância percorrida média por cada ocupante do espaço. Estes resultados permitem avaliar a eficiência da evacuação em condições normais e ter um ponto de comparação para os outros cenários de emergência que serão simulados posteriormente.

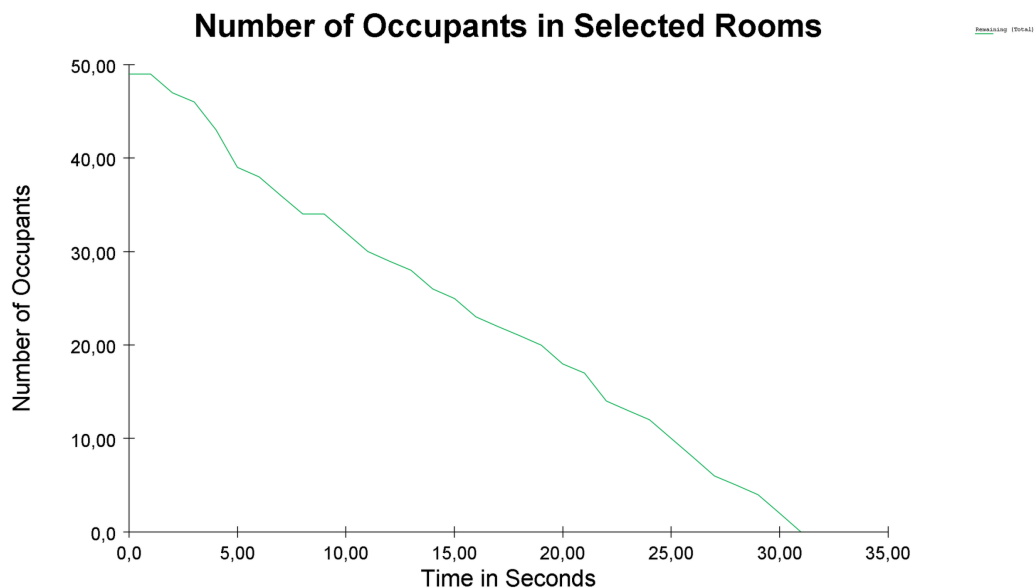


Figura 3.11: Gráfico da evolução do número de ocupantes da sala principal ao longo do tempo para o cenário 1.

Tabela 3.2: Resumo das estatísticas de evacuação cenário 1.

Métrica	Valor
Tempo total de evacuação	31 s
Tempo médio de saída por pessoa	15,41 s
Distância percorrida média	11,17 m

3.4.2 Cenário 2: Evacuação com funcionários em espera

Este cenário tem como objetivo estudar o impacto de manter os funcionários do turno de trabalho em espera, ou seja, esperarem até que os pacientes tenham saído do espaço para depois saírem eles. Para isso, foi necessário configurar o comportamento dos funcionários com uma espera de 31 segundos, equivalente ao tempo total de evacuação do cenário 1, no Pathfinder, como se pode verificar na figura 3.12. Este cenário permite avaliar o impacto desta estratégia de evacuação, nomeadamente no que toca aos tempos de evacuação dos pacientes e dos funcionários, bem como a eficiência geral da evacuação em comparação com o cenário 1.

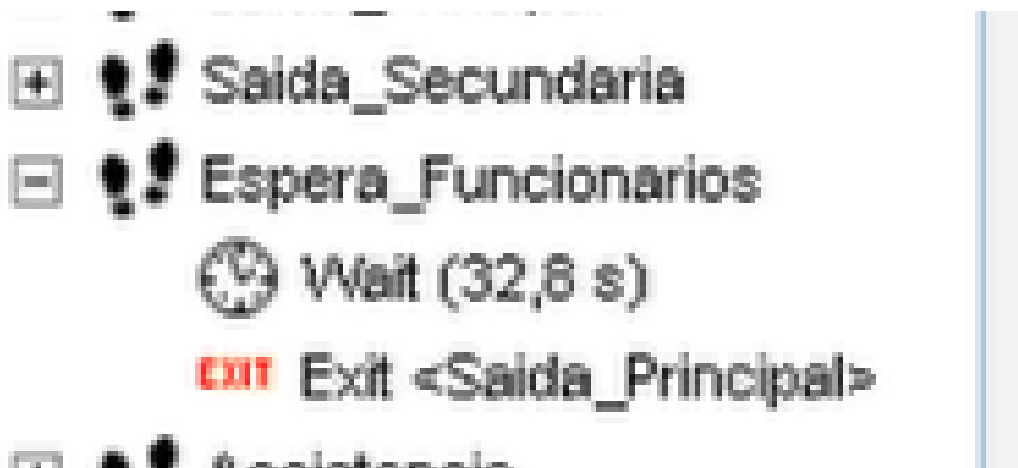


Figura 3.12: Configuração do comportamento dos funcionários para o cenário 2.

Na figura 3.13 é possível verificar que neste cenário, os funcionários do hospital esperam até que os pacientes tenham saído do espaço para depois saírem eles, o que resulta numa evacuação mais organizada e com menos cruzamentos entre pacientes e funcionários do Hospital, mas também num aumento do tempo total de evacuação, dado que os funcionários só começam a evacuar após a saída do último paciente.

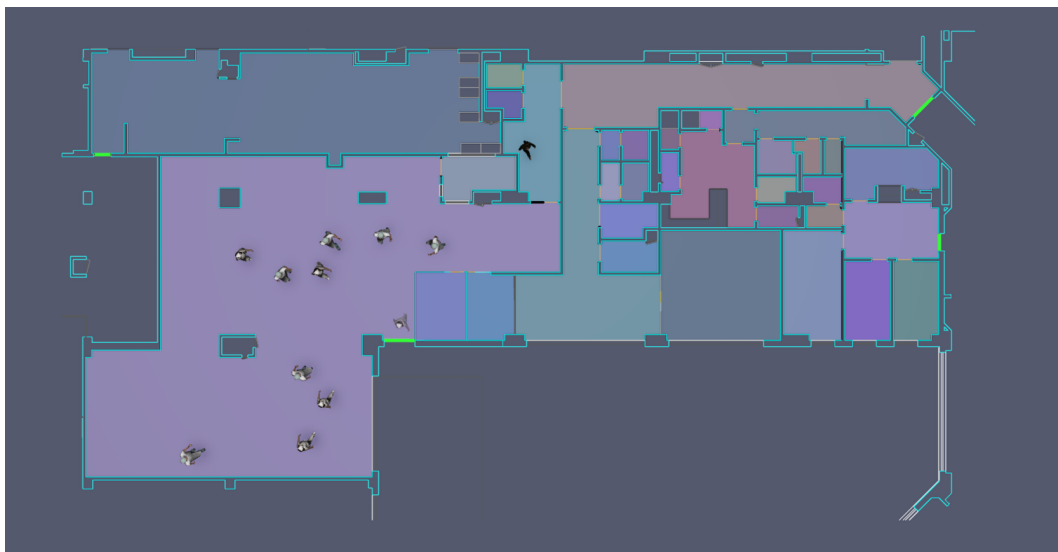


Figura 3.13: Cenário 2: Evacuação com funcionários em espera.

Os resultados estão apresentados na tabela 3.3 assim como a figura 3.14, que demonstram um aumento do tempo total de evacuação em comparação com o cenário 1, devido à espera dos funcionários até que os pacientes tenham saído do espaço. O tempo médio de saída por pessoa também aumenta, refletindo o impacto da estratégia de evacuação adotada enquanto a distância percorrida média por cada ocupante do espaço apresenta uma ligeira diminuição o que pode ser atribuído a uma evacuação mais organizada e com menos cruzamentos entre pacientes e funcionários do Hospital.

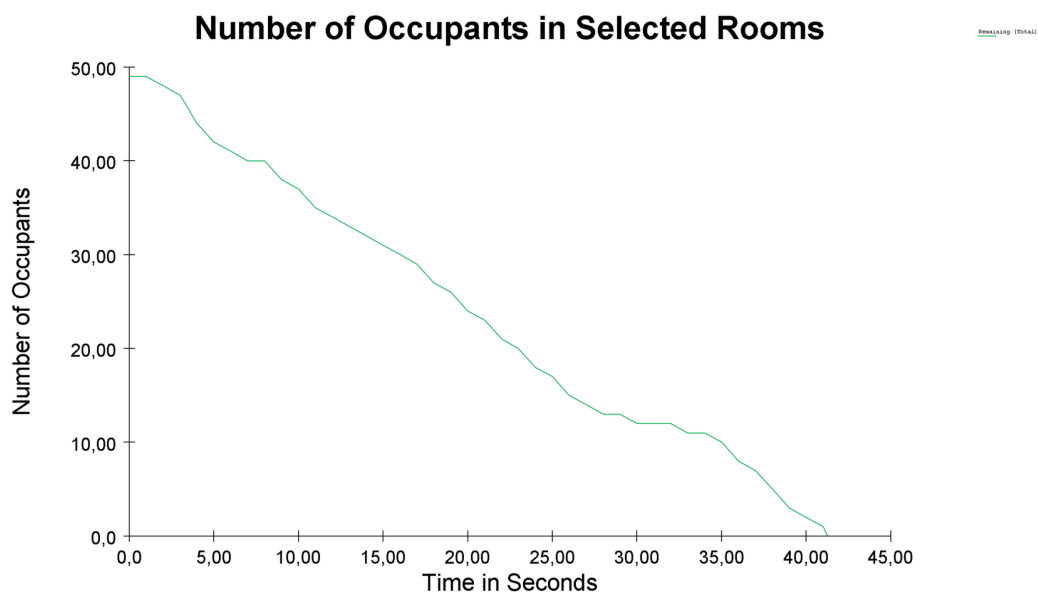


Figura 3.14: Gráfico da evolução do número de ocupantes da sala principal ao longo do tempo para o cenário 2.

Tabela 3.3: Resumo das estatísticas de evacuação cenário 2.

Métrica	Valor
Tempo total de evacuação	41,3 s
Tempo médio de saída por pessoa	20,39 s
Distância percorrida média	10,76 m

3.4.3 Cenário 3: Evacuação com capacidade máxima de pacientes e pacientes acamados

No terceiro cenário, o objetivo é estudar o impacto da utilização da capacidade máxima de pacientes do espaço do Hospital de Dia Médico do Hospital de São Sebastião, ou seja, 29 pacientes, bem como a presença de 3 pacientes acamados que necessitam de assistência para evacuar tal como na figura 3.15.



Figura 3.15: Cenário 3: Evacuação com capacidade máxima de pacientes e pacientes acamados.

Para isso, foi necessário adicionar os pacientes acamados ao modelo de simulação, sendo que foi configurado um perfil extra para estes pacientes, como se pode ver na figura 3.16. Este perfil foi configurado com uma geometria poligonal para representar a necessidade de assistência para evacuar, como se pode verificar na figura 3.17.

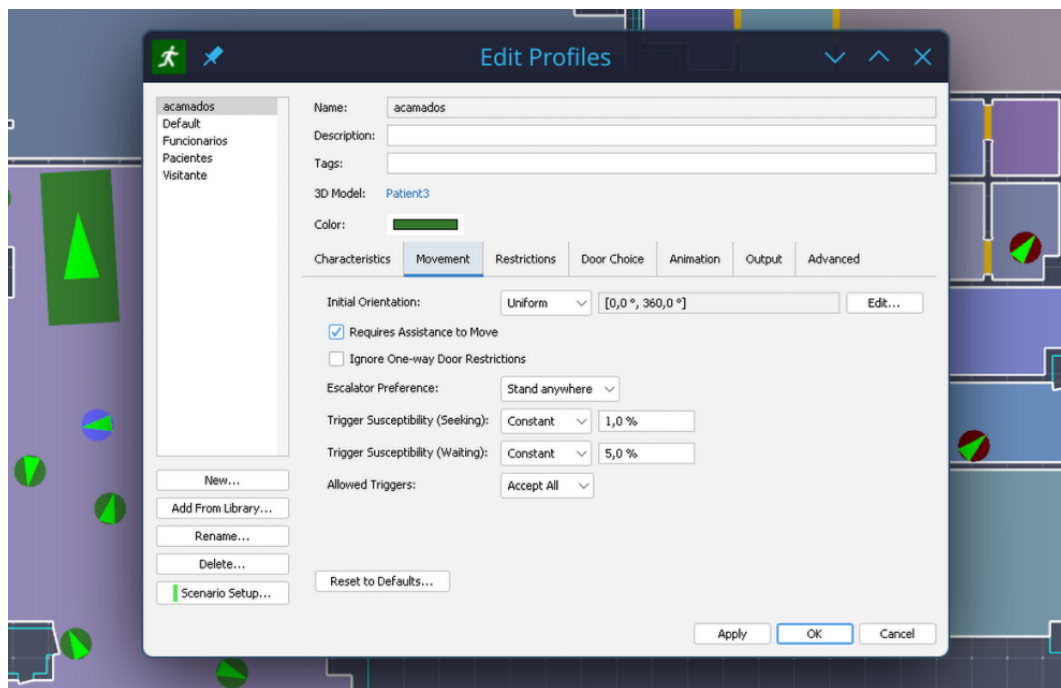


Figura 3.16: Configuração do perfil dos pacientes acamados para o cenário 3.

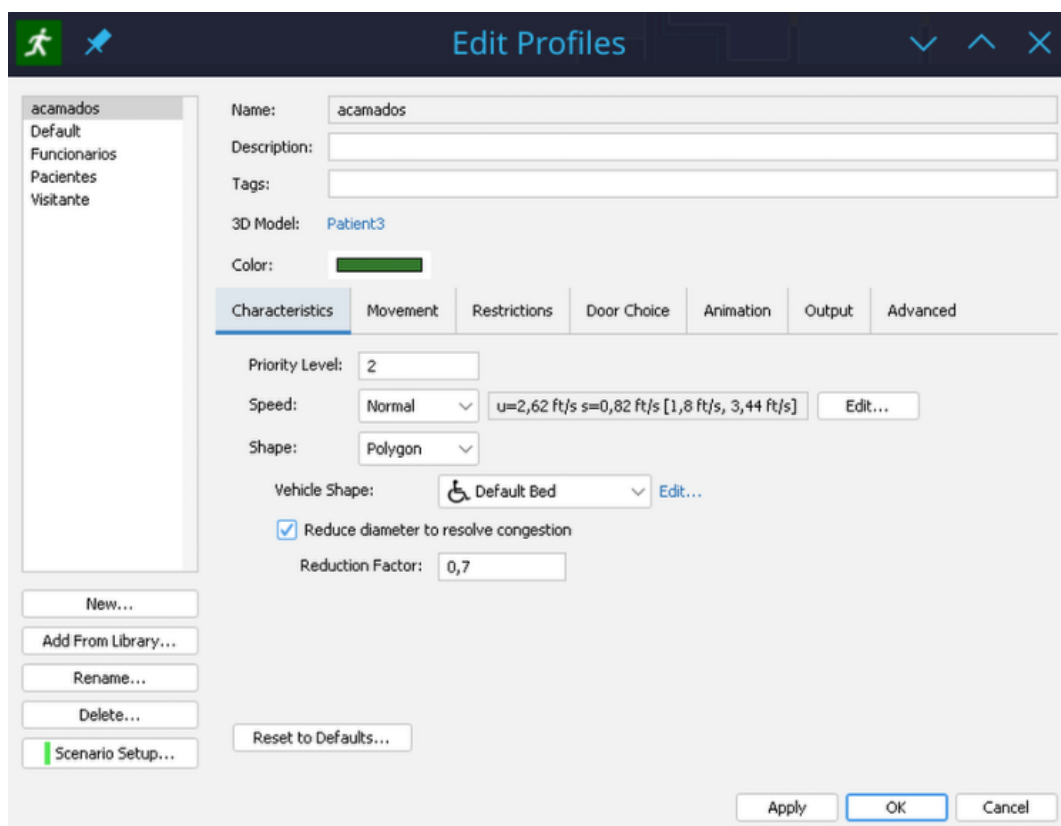


Figura 3.17: Configuração da geometria poligonal para os pacientes acamados.

Além do perfil dos pacientes acamados, também foram criados mais dois comportamentos, um para os pacientes acamados e outro para os funcionários. Como se pode verificar na figura 3.18, os pacientes acamados esperam por assistência, enquanto os funcionários do hospital são configurados para ajudar os pacientes acamados a evacuar.

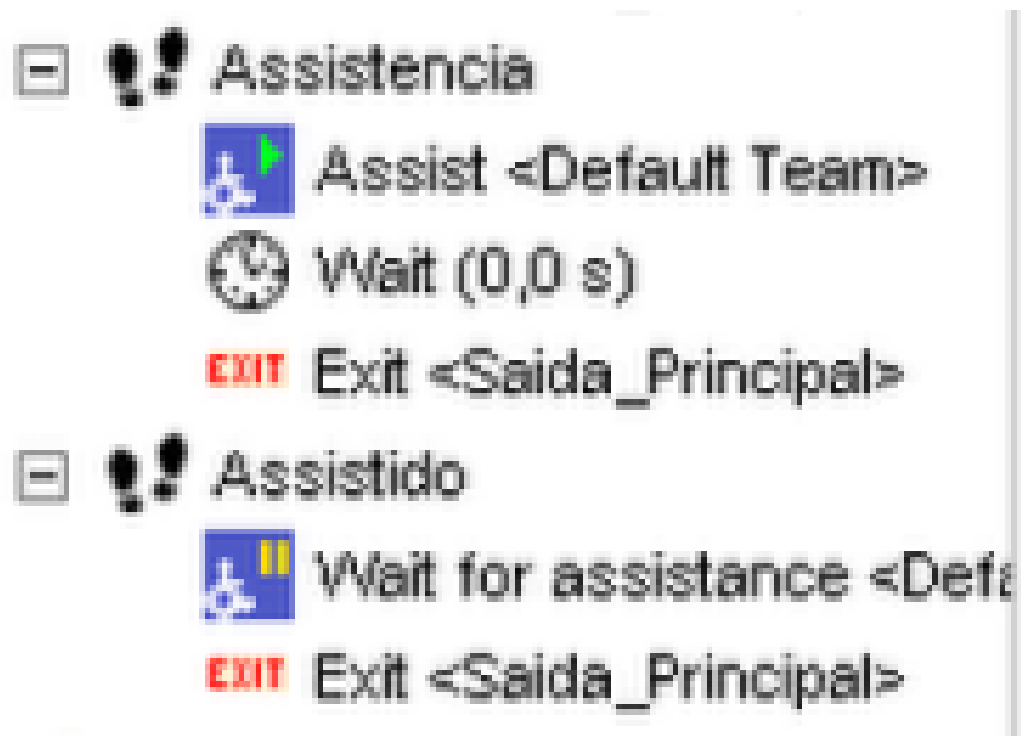


Figura 3.18: Configuração dos comportamentos para os pacientes acamados e funcionários para o cenário 3.

A tabela 3.4 e a figura 3.19 apresentam os resultados obtidos neste cenário, que demonstraram um aumento significativo do tempo total de evacuação em comparação com os cenários 1 e 2, devido à presença de uma maior quantidade de pacientes e à necessidade de assistência para evacuar os pacientes. O tempo médio de saída por pessoa também apresenta um aumento significativo, refletindo o impacto da presença de pacientes acamados e da necessidade de assistência para evacuar, assim como a distância média percorrida por cada ocupante do espaço, que apresenta um aumento em comparação com os outros cenários. Este aumento pode ser atribuído a uma evacuação mais desorganizada e com mais cruzamentos entre pacientes e funcionários do hospital, devido à presença de uma maior quantidade de pacientes e à necessidade de assistência para evacuar os pacientes acamados.

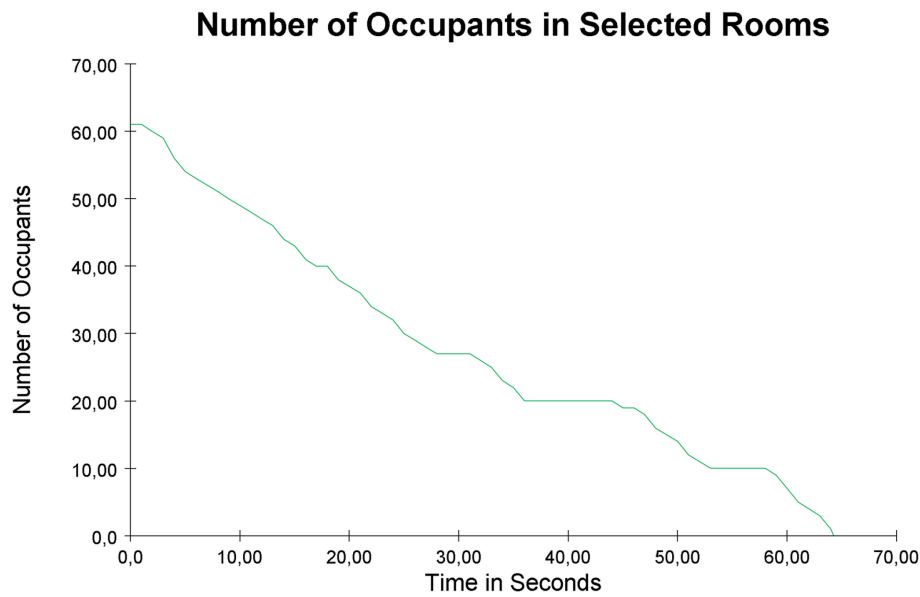


Figura 3.19: Gráfico da evolução do número de ocupantes da sala principal ao longo do tempo para o cenário 3.

Tabela 3.4: Resumo das estatísticas de evacuação cenário 3.

Métrica	Valor
Tempo total de evacuação	64,3 s
Tempo médio de saída por pessoa	29,75 s
Distância percorrida média	15,66 m

3.4.4 Cenário 4: Evacuação com capacidade máxima de pacientes e pacientes acamados e espera dos funcionários

Este cenário tem como objetivo estudar o impacto da combinação dos fatores estudados nos cenários 2 e 3, ou seja, a utilização da capacidade máxima dos pacientes do espaço do Hospital com a presença de pacientes acamados bem como a estratégia de evacuação onde os funcionários esperam um certo tempo para evacuar depois dos pacientes, tal como mostra a figura 3.20.

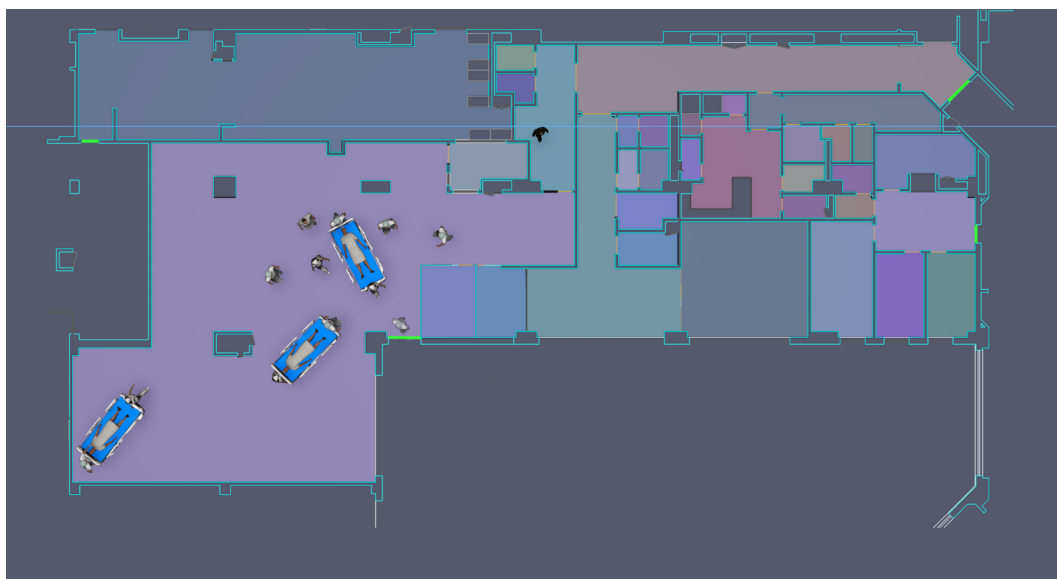


Figura 3.20: Cenário 4: Evacuação com capacidade máxima de pacientes e pacientes acamados e espera dos funcionários.

Para que isto fosse possível, foi configurado o comportamento dos funcionários de forma semelhante ao do terceiro cenário, porém com uma espera de 31 segundos, tal como se pode ver na figura 3.21, equivalente ao tempo total da evacuação do primeiro cenário.

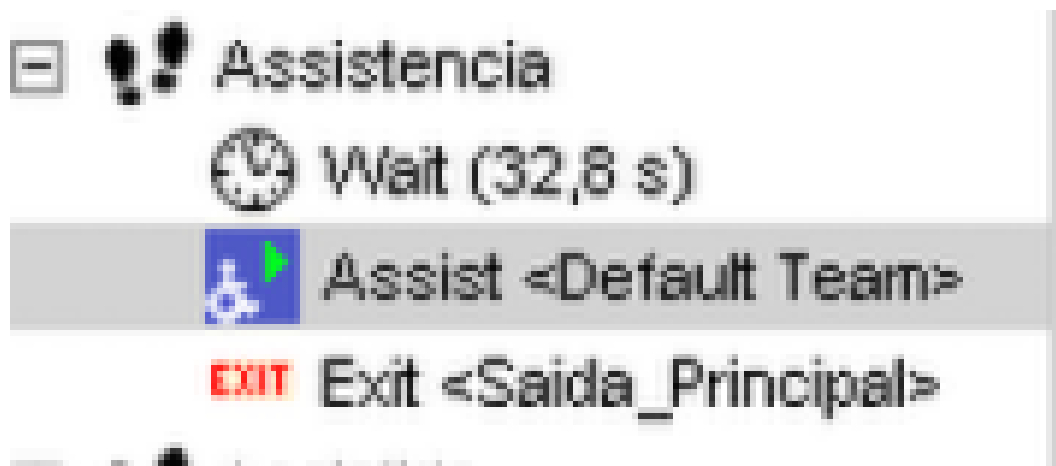


Figura 3.21: Configuração do comportamento dos funcionários para o cenário 4.

Os resultados obtidos desta solução representados tanto na tabela 3.5 como na figura 3.22, apresentam um aumento do tempo total de evacuação em comparação com o cenário 3 assim como um aumento do tempo médio de evacuação por pessoa. Estes aumentos podem ser mais uma vez atribuídos à necessidade de espera por parte dos funcionários, embora a distância média percorrida por pessoa tenha descido em

comparação com o anterior cenário, possivelmente devido à maior organização na saída dos ocupantes do espaço.

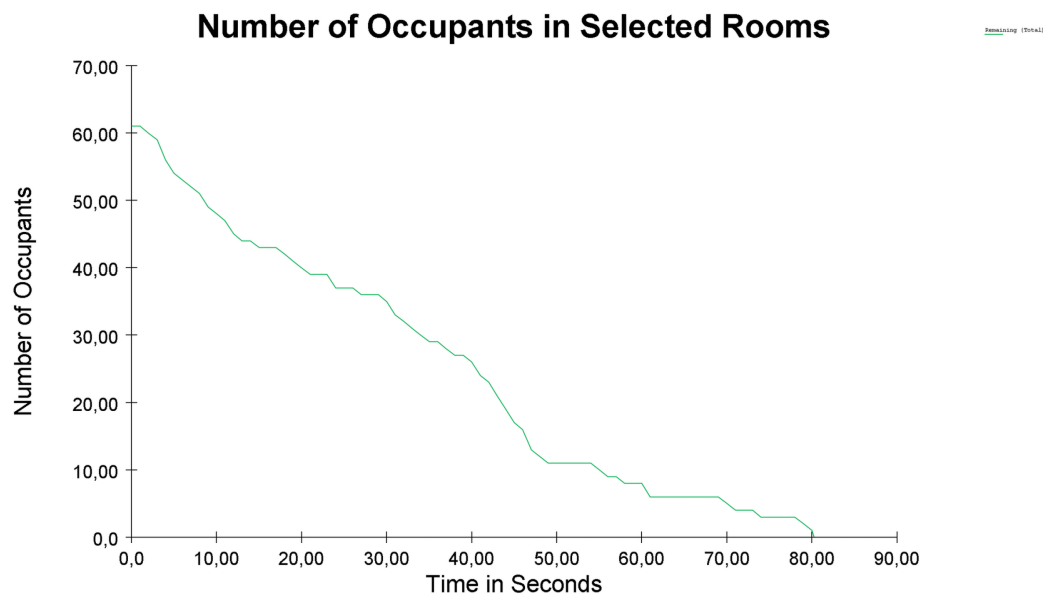


Figura 3.22: Gráfico da evolução do número de ocupantes da sala principal ao longo do tempo para o cenário 4.

Tabela 3.5: Resumo das estatísticas de evacuação cenário 4.

Métrica	Valor
Tempo total de evacuação	80,3 s
Tempo médio de saída por pessoa	33,11 s
Distância percorrida média	13,29 m

3.4.5 Cenário 5: Evacuação com acamados e lotação normal de pacientes

O cenário 5 foca-se no estudo do impacto da presença dos pacientes acamados na evacuação do espaço do Hospital de Dia Médico do Hospital de São Sebastião, mas com uma lotação normal de pacientes, ou seja, 20, tal como se pode verificar na figura 3.23.

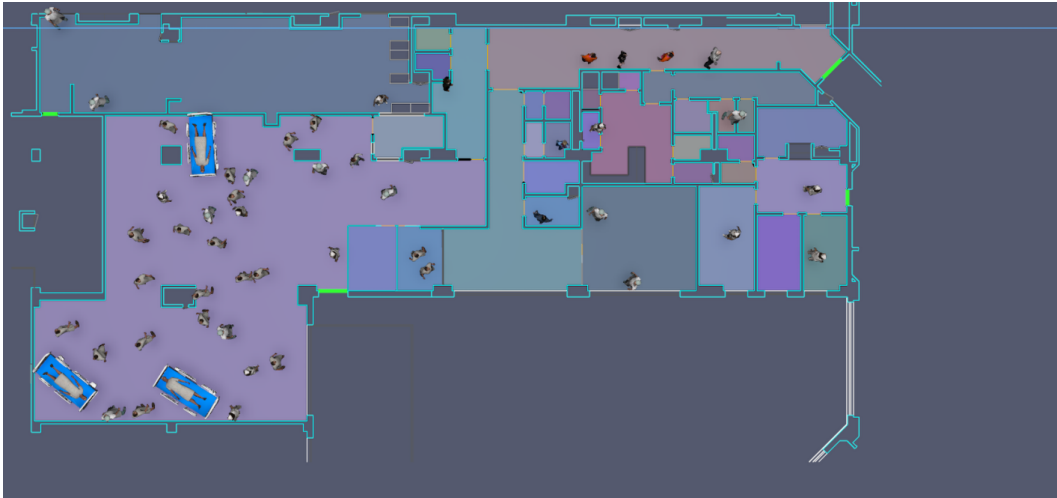


Figura 3.23: Cenário 5: Evacuação com acamados e lotação normal de pacientes.

Os resultados para este cenário apresentados na tabela 3.6 e na figura 3.24 mostram um aumento do tempo total de evacuação em comparação com o cenário 1 devido à presença dos pacientes acamados e à necessidade de assistência para evacuar, embora este aumento seja menor do que o aumento observado no cenário 3 onde a capacidade máxima de pacientes foi utilizada. Já o tempo médio de saída por pessoa também apresenta um aumento significativo, refletindo o impacto da presença de pacientes acamados e da necessidade de assistência para evacuar, enquanto que a distância média percorrida por cada ocupante do espaço apresenta um aumento em comparação com o cenário 1 e cenário 3.

Tabela 3.6: Resumo das estatísticas de evacuação cenário 5.

Métrica	Valor
Tempo total de evacuação	56,8 s
Tempo médio de saída por pessoa	24,59 s
Distância percorrida média	15,76 m

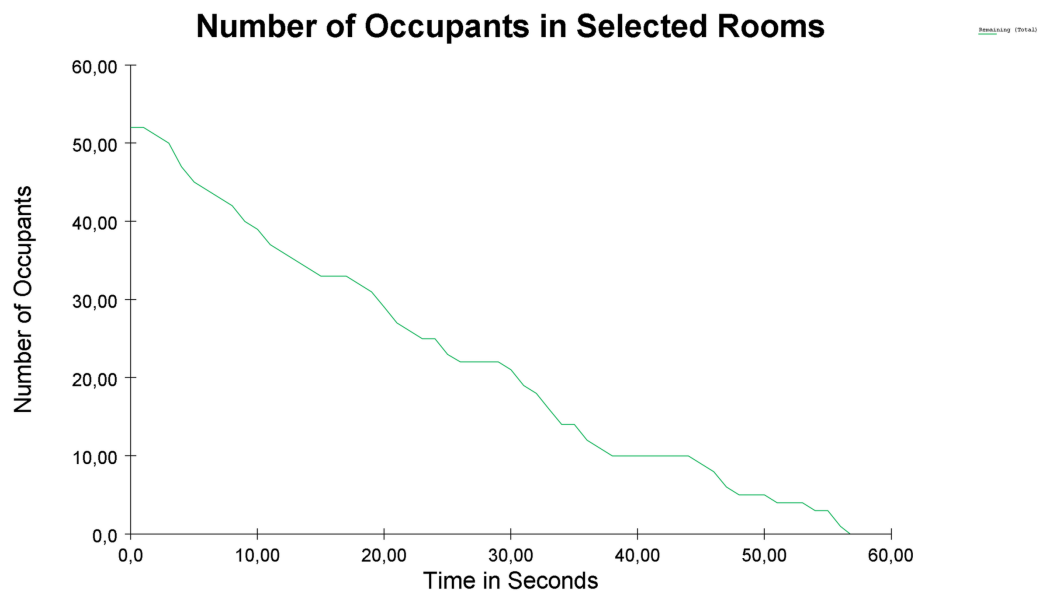


Figura 3.24: Gráfico da evolução do número de ocupantes da sala principal ao longo do tempo para o cenário 5.

3.4.6 Cenário 6: Uso de saída de emergência secundária com aca- mados e lotação máxima

Neste cenário, o objetivo é estudar o impacto do uso da saída de emergência secundária, como se pode ver na figura 3.25, localizada na porta de entrada do Hospital de Dia Médico, por parte dos visitantes do hospital, enquanto os pacientes e funcionários principais do espaço continuam a evacuar pela saída de emergência principal. Desta forma, é possível avaliar o impacto de uma evacuação mais organizada e com menos cruzamentos entre os ocupantes do espaço.

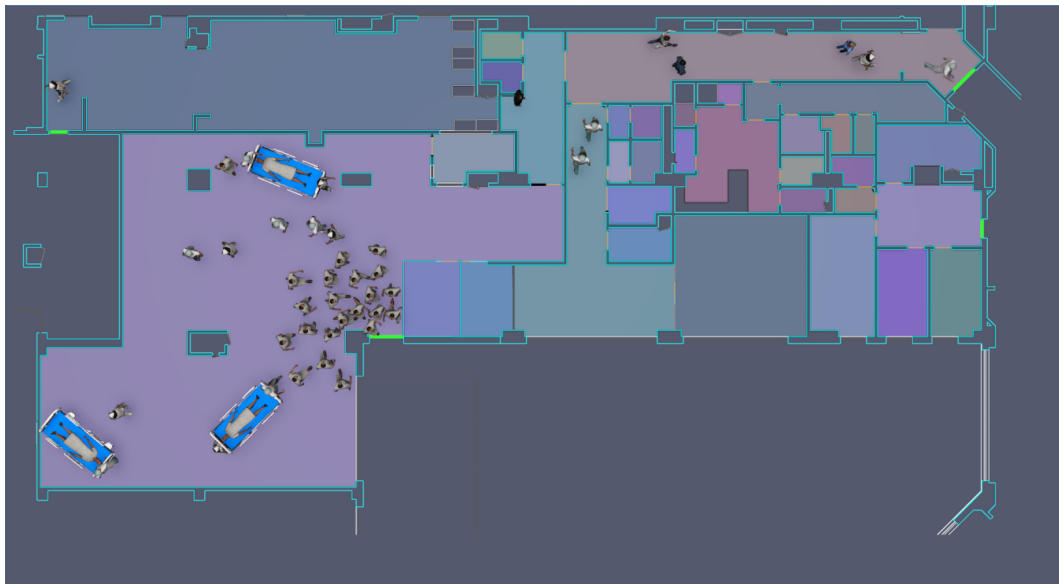


Figura 3.25: Cenário 6: Uso de saídas de emergência secundárias.

Este cenário resultou em um tempo total de evacuação de 59,0 segundos, menor que o cenário 3, onde todos os ocupantes do espaço utilizavam a saída de emergência principal. Além disso, tanto o tempo médio de saída por pessoa diminuiu, assim como a distância média percorrida por cada ocupante, mesmo com a necessidade de deslocação dos visitantes para uma saída secundária. Estes resultados, apresentados na tabela 3.7 e na figura 3.26, mostram que o uso de saídas de emergência secundárias pode contribuir para uma evacuação mais eficiente, através de uma maior organização e redução dos cruzamentos entre os diferentes ocupantes.

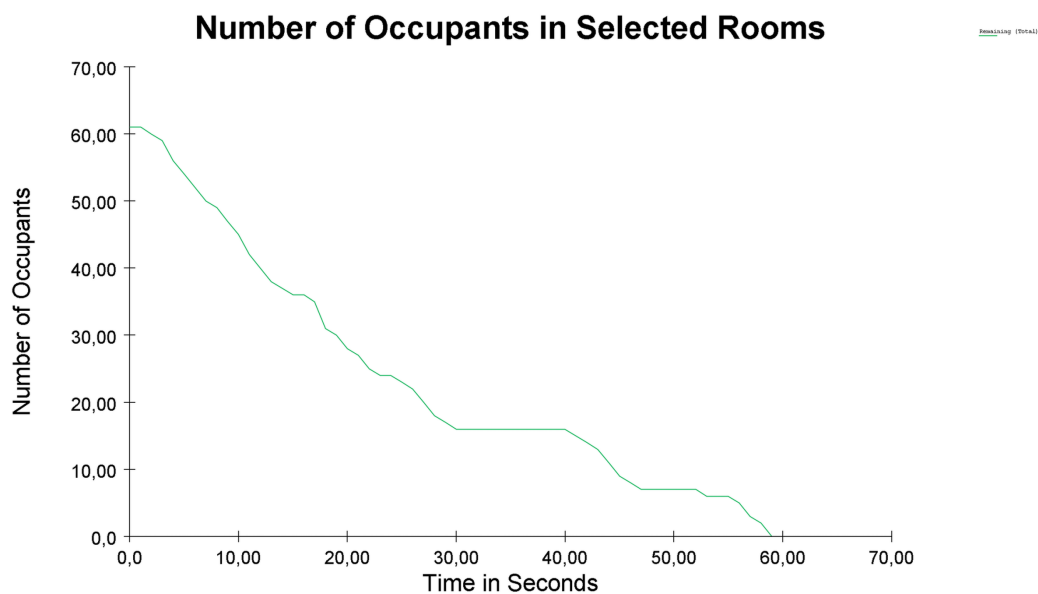


Figura 3.26: Gráfico da evolução do número de ocupantes da sala principal ao longo do tempo para o cenário 6.

Tabela 3.7: Resumo das estatísticas de evacuação cenário 6.

Métrica	Valor
Tempo total de evacuação	59,0 s
Tempo médio de saída por pessoa	23,47 s
Distância percorrida média	12,97 m

3.5 Resultados

Os diferentes cenários de evacuação simulados demonstraram que uma evacuação mais organizada e com menos cruzamentos entre os diferentes ocupantes do espaço pode contribuir para uma evacuação mais eficiente em termos de tempo, mesmo tendo em conta a presença de pacientes acamados com necessidade de assistência para evacuar tal como mostra a tabela 3.8.

Tabela 3.8: Resumo das estatísticas de evacuação para todos os cenários.

Cenário	Tempo total (s)	Tempo médio (s)	Distância média (m)
Cenário 1	31,0	15,41	11,17
Cenário 2	41,3	20,39	10,76
Cenário 3	64,3	29,75	15,66
Cenário 4	80,3	33,11	13,29
Cenário 5	56,8	24,59	15,76
Cenário 6	59,0	23,47	12,97

Além disso, a inserção de pessoas acamadas com necessidade de assistência para evacuar tem um impacto bastante significativo nos tempos de evacuação do espaço, sendo que houve um aumento de 83,23 por cento do tempo de evacuação aquando da adição dos pacientes acamados, do cenário 1 para o cenário 5. Este aumento é ainda mais significativo quando a capacidade máxima do espaço é atingida, do cenário 1 para o cenário 3, o que demonstra que tanto o aumento do número de pacientes como a adição de pacientes acamados com necessidade de assistência para evacuar têm um impacto significativo nos tempos de evacuação do espaço, dado que ambos os fatores contribuem para uma evacuação mais desorganizada e com mais cruzamentos.

De forma a mitigar algumas destas dificuldades de organização, foram testadas tanto a estratégia de espera pelos funcionários do espaço como o uso da saída de emergência secundária por parte de um grupo de ocupantes, os visitantes do hospital. Ambas as estratégias resultaram em uma evacuação mais organizada. No entanto, a estratégia de espera dos funcionários aumentou o tempo total de evacuação, enquanto a utilização da saída de emergência secundária resultou em uma diminuição de 8,24

por cento do tempo total de evacuação, do cenário 3 para o cenário 6, o que demonstra que a utilização de saídas de emergência alternativas pode ter um impacto benéfico na eficiência da evacuação.

Capítulo 4

Conclusões

Este capítulo apresenta as conclusões do trabalho realizado durante esta dissertação, realizada no âmbito do mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, com especialização em Sistemas e Planeamento Industrial.

O principal objetivo do trabalho realizado foi desenvolver um modelo de simulação e estudar os desempenhos dos diferentes cenários idealizados para a evacuação do espaço do Hospital de Dia Médico do Hospital de São Sebastião, em Santa Maria da Feira. Inicialmente, foi preciso redimensionar a planta do antigo refeitório do Hospital de São Sebastião, por originalmente não se encontrar à escala correta e não conter modificações recentes, como a adição de boxes de tratamento. Este processo foi a maior dificuldade que teve de ser ultrapassada durante o desenvolvimento do trabalho, mas foi essencial para garantir que os resultados se encontravam enquadrados com a realidade do espaço.

A simulação desenvolvida no software Pathfinder foi primeiramente validada com base em dados recolhidos no local, nomeadamente o tempo de deslocamento entre um ponto específico no espaço do hospital e a saída de emergência principal, o que permitiu validar que a simulação e os diferentes cenários idealizados poderiam ser utilizados para analisar o desempenho da evacuação do hospital.

Os resultados obtidos com a simulação dos diferentes cenários mostraram que estratégias de organização podem ter impactos distintos no desempenho da evacuação. A estratégia de espera dos funcionários aumentou o tempo total de evacuação, enquanto a utilização da saída de emergência secundária pelos visitantes reduziu o tempo total de evacuação em 8,24 por cento na comparação entre os cenários 3 e 6.

Concluindo, esta ferramenta de apoio à decisão ajuda o Hospital de Dia Médico do Hospital de São Sebastião a ser uma unidade de saúde mais resiliente, através de uma maior eficácia e conhecimento sobre a evacuação do espaço em situações de emergência.

4.1 Trabalho Futuro

De maneira a aprofundar mais o tema, outros cenários podem ser testados no futuro, desde expandir a simulação a outras alas do hospital até testar diferentes cenários que neste trabalho não foram abordados. Algumas sugestões incluem:

- Utilização de diferentes perfis para diferentes tipos de pacientes, de forma a aprofundar as diferentes incapacidades dos pacientes.
- Teste de evacuação em situações de insuficiência de pessoal do hospital, para que seja possível entender o impacto da falta de funcionários na necessidade de ajuda aos pacientes.
- Áreas obstruídas por objetos.
- Saída de emergência principal bloqueada, onde os ocupantes teriam de voltar para a outra porta, sendo assim possível estudar o atraso causado na evacuação dos ocupantes.

Todos estes cenários contribuirão para o desenvolvimento de uma ferramenta de apoio à decisão mais informada, e abrangente, promovendo processos de análise e gestão mais eficientes. Esta abordagem permitirá o reforço da resiliência da unidade de saúde, aumentando a capacidade de resposta em situações de emergência.

Referências

- [1] M. Iffaifel, R. H. Lim, K. Ryan, and C. Crowley, “Resilient health care: a systematic review of conceptualisations, study methods and factors that develop resilience,” *BMC Health Services Research*, vol. 20, no. 324, 2020. [Citado na página 1]
- [2] Unidade Local de Saúde de Entre Douro e Vouga, “Hospital de são sebastião,” 2026. Acedido em 26 mar. 2026. [Citado na página 2]
- [3] Unidade Local de Saúde de Entre Douro e Vouga, “Consultas – hospital de são sebastião,” 2026. Acedido em 26 mar. 2026. [Citado na página 2]
- [4] J. Banks, J. S. Carson, B. L. Nelson, and D. M. Nicol, *Discrete-Event System Simulation*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, 5 ed., 2010. [Citado na página 5]
- [5] J. S. Carson, “Introduction to modeling and simulation,” in *Proceedings of the Winter Simulation Conference, 2005.*, pp. 8–pp, IEEE, 2005. [Citado na página 6]
- [6] J. P. Kleijnen, “Verification and validation of simulation models,” *European journal of operational research*, vol. 82, no. 1, pp. 145–162, 1995. [Citado na página 6]
- [7] R. G. Sargent, “Verification and validation of simulation models,” in *Proceedings of the 2010 winter simulation conference*, pp. 166–183, IEEE, 2010. [Citado na página 6]
- [8] M. Saleem and Z. Khan, “Healthcare simulation: An effective way of learning in health care,” *Pakistan Journal of Medical Sciences*, vol. 39, no. 4, pp. 1185–1190, 2023. [Citado na página 7]
- [9] N. Sakurada and D. I. Miyake, “Aplicação de simuladores de eventos discretos no processo de modelagem de sistemas de operações de serviços,” *Gestão & Produção*, vol. 16, pp. 25–43, 2009. [Citado na página 7]
- [10] G. P. Cimellaro, M. Malavisi, and S. Mahin, “Using discrete event simulation models to evaluate resilience of an emergency department,” *Journal of Earthquake Engineering*, vol. 21, no. 2, pp. 203–226, 2017. [Citado na página 7]

-
- [11] E. Bonabeau, “Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems,” *Proceedings of the national academy of sciences*, vol. 99, no. suppl_3, pp. 7280–7287, 2002. [Citado na página 8]
- [12] M. Tracy, M. Cerdá, and K. M. Keyes, “Agent-based modeling in public health: Current applications and future directions,” *Annual Review of Public Health*, vol. 39, no. 1, pp. 77–94, 2018. [Citado na página 8]
- [13] P. R. Villela, “Introdução à dinâmica de sistemas,” *Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora*, 2005. [Citado na página 9]
- [14] A. Naugle, S. Langarudi, and T. Clancy, “What is (quantitative) system dynamics modeling? defining characteristics and the opportunities they create,” *System Dynamics Review*, vol. 40, no. 2, p. e1762, 2024. [Citado na página 9]
- [15] M. R. Davahli, W. Karwowski, and R. Taiar, “A system dynamics simulation applied to healthcare: A systematic review,” *International journal of environmental research and public health*, vol. 17, no. 16, p. 5741, 2020. [Citado na página 9]
- [16] S. Langarudi, R. Sabie, B. Bahaddin, and A. Fernlad, “A literature review of hybrid system dynamics and agent-based modeling in a produced water management context. modelling. 2021; 2 (2): 224–239,” 2021. [Citado na página 10]
- [17] S. C. Brailsford, T. Eldabi, M. Kunc, N. Mustafee, and A. F. Osorio, “Hybrid simulation modelling in operational research: A state-of-the-art review,” *European Journal of Operational Research*, vol. 278, no. 3, pp. 721–737, 2019. [Citado na página 10]
- [18] L. Lättilä, P. Hilletoft, and B. Lin, “Hybrid simulation models—when, why, how?,” *Expert systems with applications*, vol. 37, no. 12, pp. 7969–7975, 2010. [Citado nas páginas ix e 10]
- [19] V. H. dos Santos, K. Kotiadis, and M. P. Scaparra, “A review of hybrid simulation in healthcare,” in *2020 winter simulation conference (wsc)*, pp. 1004–1015, IEEE, 2020. [Citado nas páginas ix e 11]
- [20] E. Kar, T. Eldabi, and M. Fakhimi, “Hybrid simulation in healthcare: A review of the literature,” in *2022 Winter Simulation Conference (WSC)*, pp. 1211–1222, IEEE, 2022. [Citado na página 11]
- [21] M. Comis, C. Cleophas, and C. Büsing, “Patients, primary care, and policy: Agent-based simulation modeling for health care decision support,” *Health Care Management Science*, vol. 24, no. 4, pp. 799–826, 2021. [Citado na página 12]

-
- [22] J. C. Schlueter, L. Soerensen, A. Bossert, M. Kersting, W. Staab, and B. Wacker, “Anticipating the impact of covid19 and comorbidities on the south african healthcare system by agent-based simulations,” *Scientific Reports*, vol. 11, no. 1, p. 7901, 2021. [Citado na página 12]
- [23] T. E. Day, N. Ravi, H. Xian, and A. Brugh, “An agent-based modeling template for a cohort of veterans with diabetic retinopathy,” *PloS one*, vol. 8, no. 6, p. e66812, 2013. [Citado na página 12]
- [24] M. D. Patel, E. Rosenstrom, J. S. Ivy, M. E. Mayorga, P. Keskinocak, R. M. Boyce, K. H. Lich, R. L. Smith, K. T. Johnson, P. L. Delamater, *et al.*, “Association of simulated covid-19 vaccination and nonpharmaceutical interventions with infections, hospitalizations, and mortality,” *JAMA network open*, vol. 4, no. 6, pp. e2110782–e2110782, 2021. [Citado na página 13]
- [25] M. Yousefi and R. Ferreira, “An agent-based simulation combined with group decision-making technique for improving the performance of an emergency department,” *Brazilian journal of medical and biological research*, vol. 50, no. 5, p. e5955, 2017. [Citado na página 13]
- [26] D. E. Singh, C. O. Luceron, A. L. Sanchez, M. G. Merino, C. D. Gonzalez, C. Delgado-Sanz, D. Gomez-Barroso, J. Carretero, and M.-C. Marinescu, “Evaluation of vaccination strategies for the metropolitan area of madrid via agent-based simulation,” *BMJ open*, vol. 12, no. 12, p. e065937, 2022. [Citado na página 13]
- [27] E. Cabrera, M. Taboada, M. L. Iglesias, F. Epelde, and E. Luque, “Optimization of healthcare emergency departments by agent-based simulation,” *Procedia computer science*, vol. 4, pp. 1880–1889, 2011. [Citado na página 13]
- [28] M. Laskowski, B. C. Demianyk, J. Witt, S. N. Mukhi, M. R. Friesen, and R. D. McLeod, “Agent-based modeling of the spread of influenza-like illness in an emergency department: a simulation study,” *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 15, no. 6, pp. 877–889, 2011. [Citado na página 14]
- [29] U. Wilensky and W. Rand, *An introduction to agent-based modeling: modeling natural, social, and engineered complex systems with NetLogo*. MIT press, 2015. [Citado na página 14]
- [30] F. Haghpanah, K. Ghobadi, and B. W. Schafer, “Multi-hazard hospital evacuation planning during disease outbreaks using agent-based modeling,” *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 66, p. 102632, 2021. [Citado na página 15]

-
- [31] R. L. Harrison, “Introduction to monte carlo simulation,” in *AIP conference proceedings*, vol. 1204, p. 17, 2010. [Citado na página 15]
- [32] C. Szilagyi, “The comparison of the results of a full scale evacuation test to the calculation method of hungarian regulations to the pathfinder software,” *Applications of Structural Fire Engineering*, 2013. [Citado na página 15]
- [33] A. Tinaburri and F. Ponziani, “Monte carlo agent-based hospital evacuation simulations. the principles of performance-based inclusive design,” [Citado na página 16]
- [34] M. Islas-Toski, E. Cuevas, M. Pérez-Cisneros, and H. Escobar, “Agent-based evacuation modeling: Enhancing building safety in emergency scenarios,” *Smart Cities*, vol. 7, no. 6, pp. 3165–3187, 2024. [Citado na página 16]
- [35] D. Rajapaksha, C. Kannangara, and C. Siriwardana, “Modeling human emergency evacuation in sri lankan hospitals: An agent-based approach,” in *2024 Moratuwa Engineering Research Conference (MERCon)*, pp. 648–653, IEEE, 2024. [Citado na página 17]
- [36] H. Lasi, P. Fettke, H.-G. Kemper, T. Feld, and M. Hoffmann, “Industry 4.0,” *Business & information systems engineering*, vol. 6, no. 4, pp. 239–242, 2014. [Citado na página 17]
- [37] B. Rana and S. S. Rathore, “Industry 4.0—applications, challenges and opportunities in industries and academia: A review,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 79, pp. 389–394, 2023. [Citado na página 17]
- [38] L. Silvestri, A. Forcina, C. Silvestri, and D. Falcone, “How industry 4.0 technologies can contribute to plant layout design and management: a systematic literature review,” *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, vol. 19, no. 5, pp. 3105–3119, 2025. [Citado na página 17]
- [39] M. M. Gunal, “Simulation for industry 4.0,” *Past, Present, and Future. Springer*, vol. 3, 2019. [Citado na página 17]
- [40] F. Pires, A. Cachada, J. Barbosa, A. P. Moreira, and P. Leitão, “Digital twin in industry 4.0: Technologies, applications and challenges,” in *2019 IEEE 17th international conference on industrial informatics (INDIN)*, vol. 1, pp. 721–726, IEEE, 2019. [Citado na página 18]
- [41] Ministério da Administração Interna, “Portaria n.º 1532/2008, de 29 de dezembro. Aprova o Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio em Edifícios.” *Diário da República*, 1.ª série, n.º 250, 2008. [Citado na página 18]

-
- [42] Presidência do Conselho de Ministros, “Decreto-Lei n.º 220/2008, de 12 de novembro. Estabelece o Regime Jurídico da Segurança contra Incêndio em Edifícios.” Diário da República, 1.ª série, n.º 220, 2008. [Citado na página 18]
- [43] Ministério da Administração Interna, “Portaria n.º 135/2020, de 2 de junho.” Diário da República n.º 107/2020, Série I, jun 2020. Alteração ao Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio em Edifícios (SCIE). [Citado na página 18]
- [44] S. Tanaka, K. Kamiya, N. Hamazaki, R. Matsuzawa, K. Nozaki, T. Nakamura, M. Yamashita, E. Maekawa, C. Noda, M. Yamaoka-Tojo, *et al.*, “Short-term change in gait speed and clinical outcomes in older patients with acute heart failure,” *Circulation Journal*, vol. 83, no. 9, pp. 1860–1867, 2019. [Citado na página 25]
- [45] D. Shimotori, K. Aimoto, E. Otaka, J. Matsumura, S. Tanaka, H. Kagaya, and I. Kondo, “Influence of treadmill speed selection on gait parameters compared to overground walking in subacute rehabilitation patients,” *Journal of Physical Therapy Science*, vol. 37, no. 2, pp. 89–94, 2025. [Citado na página 25]