



ANÁLISE DE DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE EVACUAÇÃO NUM EDIFÍCIO ESCOLAR USANDO A SIMULAÇÃO

LUÍS HENRIQUE DA CUNHA RIBEIRO PIRES BERNARDES

julho de 2023

ANÁLISE DE DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE EVACUAÇÃO NUM EDIFÍCIO ESCOLAR USANDO A SIMULAÇÃO

Luís Henrique da Cunha Ribeiro Pires Bernardes

2023

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

ANÁLISE DE DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE EVACUAÇÃO NUM EDIFÍCIO ESCOLAR USANDO A SIMULAÇÃO

Luís Henrique da Cunha Ribeiro Pires Bernardes

1130409

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, ramo Gestão Industrial, realizada sob a orientação do Professor Doutor Luís Pinto Ferreira e coorientação da Professora Doutora Elga Cristina Vilela Viana Pereira da Costa.

2023

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

AGRADECIMENTOS

Após concluir mais uma etapa da minha vida acadêmica e pessoal, gostaria de expressar o meu profundo agradecimento a todas as pessoas que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para o cumprimento deste importante objetivo pessoal.

Gostaria de expressar de forma enfática a minha imensa gratidão ao Professor Doutor Luís Pinto Ferreira, do Instituto Superior de Engenharia do Porto, pela orientação incansável e pelo profissionalismo repleto de grande sabedoria.

Quero também agradecer à Professora Doutora Elga Costa, da Escola Superior de Hotelaria e Turismo do Porto pela coorientação e disponibilidade prestada durante o desenvolvimento desta dissertação.

À Doutora Paula Lima e à equipa responsável pela segurança do campus 2 do Politécnico do Porto, pela disponibilidade e colaboração demonstrada durante o processo de recolha de dados para a dissertação.

Ao Rúben Bessa, ao José Ferreira e ao Luís Santos, colegas de curso, companheiros e amigos por todo o apoio prestado, quer a nível académico, quer a nível pessoal, uma vez que estiveram ao meu lado durante toda esta fase.

A todos os meus amigos, cujo nome não é aqui mencionado, o meu agradecimento pelo incentivo e suporte emocional ao longo de uma vida recheada de altos e baixos.

À minha família pela motivação que me soube dar ao longo dos anos, em especial aos meus Avós que teriam orgulho de assistir à conclusão desta minha etapa.

Por fim, agradeço aos meus Pais por todo o apoio, sacrifício pessoal e motivação ao longo da minha vida. A eles dedico este trabalho. Obrigado por tudo.

página propositadamente em branco

RESUMO

Desde o início do milénio, têm acontecido catástrofes nas áreas urbanas que provocaram prejuízos materiais e perdas humanas irreparáveis. Para evitar a ocorrência de mortos e feridos durante uma emergência, é necessário realizar um planeamento de evacuação eficaz. Consequentemente a comunidade investigadora tem desenvolvido variados estudos para melhorar a eficiência de um processo de evacuação e a utilização de *softwares* de simulação tem sido cada vez mais recorrente como uma metodologia de apoio à decisão. A presente dissertação tem como objetivo a análise de diferentes estratégias de evacuação num edifício escolar (Escola Superior de Hotelaria e Turismo do P.Porto) através de uma investigação do atual estado da arte e da realização do estudo do caso prático com recurso ao software Pathfinder a fim de identificar possíveis pontos de estrangulamento do processo de evacuação, analisar os resultados e sugerir melhorias.

Neste estudo, concluiu-se que nas estratégias em que os ocupantes não receberam qualquer tipo de orientação relativamente ao caminho/meio de evacuação a que se devem dirigir, os elevadores raramente foram utilizados e o cenário com o menor tempo de evacuação foi o cenário em que a porta principal, a porta do bar e a porta traseira se encontravam disponíveis. Nas estratégias com orientação, a utilização dos elevadores permitiu reduzir o tempo de evacuação nalguns cenários, não obstante, aumentou noutros. Porém, onde há melhoria de tempo, a diferença não é substancial, enquanto nos cenários em que o tempo de evacuação foi agravado, a diferença foi superior. Numa abordagem em que os ocupantes são orientados para o percurso a realizar, os cenários com o menor tempo de evacuação, demonstram que os ocupantes não precisam de ser direcionados para a porta traseira, como tal, das quatro portas existentes, apenas a porta principal, a secundária e a porta do bar terão necessidade de estar funcionais. Também se aferiu que a orientação dos ocupantes permite diminuir os tempos de evacuação, visto que há uma redução média percentual de 1%, 21%, 23% e 29% dos tempos de movimentação para 1, 2, 3 e 4 saídas disponíveis das 4 existentes, respetivamente.

Numa estratégia com 4 saídas disponíveis, a criação de uma porta com 260 cm de largura junto das escadas do corredor conjuntamente com o encaminhamento dos ocupantes, permite uma redução de 9.34% do tempo de movimentação comparativamente aos resultados do melhor cenário com as saídas existentes no edifício.

PALAVRAS-CHAVE

Estratégias de Evacuação; Edifício Escolar; Escola Superior de Hotelaria e Turismo; Simulação e Otimização; Software Pathfinder; Caso de estudo.

página propositadamente em branco

ABSTRACT

Since the beginning of the millennium, disasters have occurred in urban areas, causing significant material damages and irreparable human losses. To prevent fatalities and injuries during emergencies, it is necessary to implement effective evacuation planning. Consequently, the research community has conducted various studies to enhance the efficiency of evacuation processes, and the use of simulation software has become increasingly common as a decision-support methodology. This dissertation aims to analyze different evacuation strategies in a school building (Escola Superior de Hotelaria e Turismo of P.Porto) by conducting a state-of-the-art investigation and a practical case study using Pathfinder software. The objective is to identify potential bottlenecks in the evacuation process, analyze the results, and propose improvements.

In this study, it was concluded that in strategies where occupants did not receive any guidance regarding the path/means of evacuation to be followed, elevators were rarely used, and the scenario with the shortest evacuation time was the one where the main door, the bar door, and the rear door were available. In strategies with guidance, the use of elevators allowed for a reduction in evacuation time in some scenarios but increased it in others. However, where there was an improvement in time, the difference was not substantial, while in scenarios where the evacuation time worsened, the difference was greater. In an approach where occupants are directed to a specific path or exit, scenarios with the shortest evacuation time demonstrate that occupants do not need to be directed towards the rear door. Therefore, out of the four existing doors, only the main door, the secondary door, and the bar door need to be functional. It was also found that occupant guidance reduces evacuation times, with an average percentage reduction of 1%, 21%, 23%, and 29% for 1, 2, 3, and 4 available exits out of the 4 existing ones, respectively.

In a strategy with 4 available exits, the creation of a 260 cm wide door next to the staircase in the corridor, along with occupant routing, results in a 9.34% reduction in movement time compared to the results of the best scenario with the existing exits in the building.

KEYWORDS

Evacuation Strategies; School Building; Escola Superior de Hotelaria e Turismo; Simulation and Optimization; Pathfinder Software; Case Study.

página propositadamente em branco

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	XV
ÍNDICE DE TABELAS	XIX
LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS.....	XXI
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO DO TRABALHO	1
1.2. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO	1
1.3. METODOLOGIA DA INVESTIGAÇÃO.....	1
1.4. APRESENTAÇÃO DA ESCOLA SUPERIOR DE HOTELARIA E TURISMO	2
1.5. CONTEÚDO E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	3
2. REVISÃO DA LITERATURA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	6
2.1. SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO.....	6
2.1.1. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA SIMULAÇÃO.....	6
2.2. EVACUAÇÃO DE EDIFÍCIOS – CASOS DE ESTUDO	7
2.3. EVACUAÇÃO DE EDIFÍCIOS	13
2.3.1. FATORES QUE INFLUENCIAM A EVACUAÇÃO	14
2.3.2. ESTRATÉGIAS E COMPONENTES DE EVACUAÇÃO DE EDIFÍCIOS.....	15
2.3.3. FASES DO PROCESSO DE EVACUAÇÃO E TEMPOS DE EVACUAÇÃO.....	17
2.4. EVACUAÇÃO DE EDIFÍCIOS EM PORTUGAL – LEGISLAÇÃO	19
2.5. <i>SOFTWARES</i> DE APOIO À EVACUAÇÃO	23
2.5.1. <i>SOFTWARE</i> PATHFINDER.....	24
3. ANÁLISE DE DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE EVACUAÇÃO NUM EDIFÍCIO ESCOLAR.....	29
3.1. MODELAÇÃO DO EDIFÍCIO DE ANÁLISE.....	29
3.1.1. PISO 1	30
3.1.2. PISO 2	34
3.2. ESTUDO DE SIMULAÇÃO	36
3.2.1. MODELAÇÃO (INTERFACE VISUAL E ANIMAÇÃO)	36
3.2.2. VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE APOIO À DECISÃO DESENVOLVIDO	43
3.2.3. ANÁLISE DAS DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE EVACUAÇÃO	48
3.2.4. ESTRATÉGIA 1 – EDIFÍCIO COM 1 SAÍDA DISPONÍVEL, SEM ORIENTAÇÃO	49
3.2.5. ESTRATÉGIA 2 – EDIFÍCIO COM 2 SAÍDAS DISPONÍVEIS, SEM ORIENTAÇÃO	53
3.2.6. ESTRATÉGIA 3 – EDIFÍCIO COM 3 SAÍDAS DISPONÍVEIS, SEM ORIENTAÇÃO	60
3.2.7. ESTRATÉGIA 4 – EDIFÍCIO COM 4 SAÍDAS DISPONÍVEIS, SEM ORIENTAÇÃO	64
3.2.8. ESTRATÉGIA 5 – EDIFÍCIO COM 1 SAÍDA DISPONÍVEL, COM ORIENTAÇÃO	65
3.2.9. ESTRATÉGIA 6 – EDIFÍCIO COM 2 SAÍDAS DISPONÍVEIS, COM ORIENTAÇÃO	71
3.2.10. ESTRATÉGIA 7 – EDIFÍCIO COM 3 SAÍDAS DISPONÍVEIS, COM ORIENTAÇÃO ..	78
3.2.11. ESTRATÉGIA 8 – EDIFÍCIO COM 4 SAÍDAS DISPONÍVEIS, COM ORIENTAÇÃO ..	84

3.2.12. ESTRATÉGIA 9 – CRIAÇÃO DE UMA NOVA SAÍDA (4 SAÍDAS DISPONÍVEIS, COM E SEM ORIENTAÇÃO)	86
3.3. DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	89
4. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	95
4.1. PRINCIPAIS CONTRIBUTOS DO TRABALHO.....	95
4.2. LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS	96
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Escola Superior de Hotelaria e Turismo (ESHT & P.Porto, 2016b)	3
Figura 2 – Bloco D do Campus 2 do P.Porto (ESHT et al., 2022)	3
Figura 3 – Os quatro principais fatores para calcular a eficiência de evacuação de um edifício (Gwynne et al., 1999).....	15
Figura 4 – Cronograma de uma evacuação de edifícios (Chu et al., 2012)	19
Figura 5 – Vista aérea e localização da ESHT (Google, 2023).....	29
Figura 6 – Edifício D.....	30
Figura 7 – Planta de emergência do Piso 1 da ESHT	30
Figura 8 - Porta principal do edifício	31
Figura 9 – Porta de emergência localizada no espaço destinado a ser um bar	31
Figura 10 – Porta traseira do edifício	32
Figura 11 – Porta secundária do bloco D (normalmente disponível).....	32
Figura 12 – Sinalética do corredor principal a indicar o sentido da porta de emergência	33
Figura 13 – Sala de computadores	33
Figura 14 – Sala de aulas teóricas	34
Figura 15 – Planta de emergência do Piso 2 da ESHT	34
Figura 16 – Cozinha de produção central.....	35
Figura 17 – Sala com cozinhas individuais	35
Figura 18 – Elevadores no átrio do piso 2	36
Figura 19 – Interface visual do Pathfinder	37
Figura 20 – Configuração da imagem de fundo	37
Figura 21 – Criação de uma sala de aula através da ferramenta “Add a Rectangular Room”	38
Figura 22 – Criação de uma porta no Pathfinder	38
Figura 23 – Parametrização de uma porta com um tempo de espera que segue uma distribuição normal.....	39
Figura 24 – Exemplo da criação das escadas.....	39
Figura 25 – Criação do elevador no Pathfinder.....	40
Figura 26 – Obstáculos das salas de aula	40
Figura 27 – Perfil aleatório gerado pelo Pathfinder	41
Figura 28 – Parametrização do comportamento do ocupante	42
Figura 29 – Parametrização de um grupo de movimentação	42
Figura 30 – Visualização 3D dos resultados da simulação	43
Figura 31 – Representação legendada da planta do Piso 1	46
Figura 32 – Representação legendada da planta do Piso 2	47
Figura 33 – Gráfico da evolução da evacuação dos ocupantes sem orientação com a porta principal disponível (1º cenário)	50
Figura 34 – Estrangulamento do fluxo de pessoas no corredor principal junto aos elevadores.	50
Figura 35 – Gráfico da evolução da evacuação dos ocupantes sem orientação com a porta secundária disponível (2º cenário).....	51
Figura 36 – Gráfico da evolução da evacuação dos ocupantes sem orientação com a porta de emergência atrás das escadas principais disponível (3º cenário).....	51

Figura 37 – Gráfico da evolução da evacuação dos ocupantes sem orientação com a porta do futuro bar disponível (4º cenário).....	51
Figura 38 – Vista superior do corredor onde existe um bottleneck (2º cenário)	52
Figura 39 – Vista 3D do bottleneck (2º cenário)	52
Figura 40 – Vista 3D do bottleneck no átrio principal (3º cenário).....	53
Figura 41 – Vista 3D do bottleneck no átrio principal (4º cenário).....	53
Figura 42 – Gráfico da evolução da evacuação dos ocupantes do cenário 2 com elevadores	55
Figura 43 – Gráfico da evolução da evacuação dos ocupantes do cenário 2 sem elevadores	55
Figura 44 – Gráfico com a ocupação dos elevadores em função do tempo no cenário 2	55
Figura 45 – Gráfico da evolução da evacuação dos ocupantes do cenário 4.....	56
Figura 46 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 4	56
Figura 47 – Gráfico da evolução da evacuação dos ocupantes do cenário 1.....	57
Figura 48 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 1	57
Figura 49 – Gráfico da evolução da evacuação dos ocupantes do cenário 3.....	57
Figura 50 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 3	58
Figura 51 – Gráfico da evolução da evacuação dos ocupantes do cenário 5.....	58
Figura 52 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 5	58
Figura 53 – Gráfico da evolução da evacuação dos ocupantes do cenário 6.....	59
Figura 54 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 6	59
Figura 55 – Gráfico da evolução da evacuação dos ocupantes do cenário 3.....	61
Figura 56 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 3	61
Figura 57 – Gráfico da evolução da evacuação dos ocupantes do cenário 4.....	62
Figura 58 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 4	62
Figura 59 – Gráfico da evolução da evacuação dos ocupantes do cenário 1.....	62
Figura 60 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 1	63
Figura 61 – Gráfico da evolução da evacuação dos ocupantes do cenário 2.....	63
Figura 62 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 2	63
Figura 63 – Concentração de pessoas no corredor das escadas secundárias (Piso 2).....	64
Figura 64 – Gráfico da evolução da evacuação dos ocupantes da estratégia 4.....	65
Figura 65 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída da estratégia 4.....	65
Figura 66 – Atribuição de um tempo de espera de 40 segundos	66
Figura 67 – Criação de um ponto de referência para onde os ocupantes se devem dirigir	67
Figura 68 – Gráfico da evolução da evacuação do cenário 1 (sem elevadores)	67
Figura 69 – Criação do comportamento que orienta as pessoas para os elevadores	68
Figura 70 – Gráfico da evolução da evacuação do cenário 1 (com elevadores)	68
Figura 71 – Gráfico da evolução da evacuação do cenário 2 (sem elevadores)	69
Figura 72 – Gráfico da evolução da evacuação do cenário 3 (sem elevadores)	70
Figura 73 – Gráfico da evolução da evacuação do cenário 4 (com elevadores)	70
Figura 74 – Gráfico com a ocupação dos elevadores em função do tempo no cenário 4 (com elevadores).....	71
Figura 75 – Gráfico da evolução da evacuação do cenário 1 (sem elevadores)	72
Figura 76 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 1 (sem elevadores).....	72
Figura 77 – Gráfico da evolução da evacuação do cenário 2 (sem elevadores)	73
Figura 78 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 2 (sem elevadores).....	73
Figura 79 – Gráfico da evolução da evacuação do cenário 3 (sem elevadores)	74

Figura 80 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 3 (sem elevadores).....	75
Figura 81 – Gráfico da evolução da evacuação do cenário 4.....	75
Figura 82 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 4	76
Figura 83 – Gráfico da evolução da evacuação do cenário 5.....	76
Figura 84 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 5	77
Figura 85 – Gráfico da evolução da evacuação do cenário 6 (sem elevadores)	77
Figura 86 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 6 (sem elevadores).....	78
Figura 87 – Gráfico da evolução da evacuação do cenário 1 (sem elevadores)	80
Figura 88 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 1 (sem elevadores).....	80
Figura 89 – Gráfico da evolução da evacuação do cenário 2 (sem elevadores)	81
Figura 90 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 2 (sem elevadores).....	81
Figura 91 – Gráfico da evolução da evacuação do cenário 3 (sem elevadores)	82
Figura 92 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 3 (sem elevadores).....	82
Figura 93 – Gráfico da evolução da evacuação do cenário 4.....	83
Figura 94 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 4	83
Figura 95 – Gráfico da evolução da evacuação da estratégia 8 (sem elevadores)	85
Figura 96 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída da estratégia 8 (sem elevadores).....	85
Figura 97 – Criação de uma nova saída.....	86
Figura 98 – Gráfico da evolução da evacuação da estratégia 9 sem orientação	87
Figura 99 - Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída da estratégia 9 sem orientação	87
Figura 100 – Gráfico da evolução da evacuação da estratégia 9 com orientação.....	88
Figura 101 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída da estratégia 9 com orientação	89
Figura 102 – Gráfico com os tempos de movimentação de uma evacuação orientada (c/ e s/ elevadores).....	91

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplos de casos de estudo de evacuação de edifícios com recurso a simulação.....	7
Tabela 2 – Tempos estimados de pré-movimentação (CFPA, 2009)	17
Tabela 3 – Comparação dos tempos de evacuação de uma simulação real relativamente a uma simulação computacional	44
Tabela 4 – Distribuição dos ocupantes pelas diversas divisões	48
Tabela 5 – Tempos de evacuação da estratégia 1.....	49
Tabela 6 - Tempos de evacuação da estratégia 2	54
Tabela 7 – Tempos de evacuação da estratégia 3.....	60
Tabela 8 – Tempos de evacuação da estratégia 4.....	64
Tabela 9 – Tempos de evacuação da estratégia 5.....	66
Tabela 10 – Tempos de evacuação da estratégia 6	71
Tabela 11 - Tempos de evacuação da estratégia 7	79
Tabela 12 – Tempos de evacuação da estratégia 8	84
Tabela 13 - Tempos de evacuação da estratégia 9 sem orientação	86
Tabela 14 – Tempos de evacuação da estratégia 9 com orientação	88
Tabela 15 – Tempos de movimentação das diferentes estratégias.....	89
Tabela 16 – Tempos de movimentação com orientação (com e sem elevadores).....	91
Tabela 17 – Comparação de resultados das estratégias com e sem orientação	92

LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS

Lista de Siglas

3D	Três dimensões
ANPC	Autoridade Nacional de Proteção Civil
ASET	Available Safe Egress Time
ESHT	Escola Superior de Hotelaria e Turismo
INEM	Instituto Nacional de Emergência Médica
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
obj	Object File Wavefront 3D
P.Porto	Instituto Politécnico do Porto
RSET	Required Safe Egress Time
SCIE	Segurança Contra Incêndios em Edifícios

Lista de Unidades

<i>cm</i>	centímetro
<i>m</i>	metro
<i>s</i>	segundo

Lista de Símbolos

<i>d</i>	distância	<i>m</i>
<i>t</i>	tempo	<i>s</i>

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo é efetuada a introdução do tema da dissertação elaborada, tal como o seu enquadramento, os objetivos, metodologias e é realizada uma apresentação do local de estudo.

1.1. ENQUADRAMENTO DO TRABALHO

Nos últimos anos, têm ocorrido emergências por todo o mundo. Para além das emergências tradicionais causadas por catástrofes naturais como terremotos, furacões e inundações, existem cada vez mais novos tipos de eventos, tais como ataques terroristas, fugas causadas por pânico e incêndios (H. Liu et al., 2020). As catástrofes podem levar à destruição substancial de infraestruturas físicas, perdas humanas e a perdas económicas pesadas (H. Liu et al., 2020; Trivedi & Singh, 2017), como tal é cada vez mais necessário tornar o ambiente construtivo tão seguro quanto possível (Rüppel & Schatz, 2011).

O planeamento de evacuação é uma componente importante da preparação para emergências em áreas urbanas (Alçada-Almeida et al., 2009), como tal, cada vez mais é necessário recorrer a ferramentas de apoio à decisão (Ferreira et al., 2012). Segundo (Benedettini & Tjahjono, 2009), a simulação é uma das técnicas mais úteis que permite prever o desempenho dinâmico de um sistema complexo, reproduzindo as interações entre os seus subsistemas num modelo informático.

Segundo (Wang et al., 2021), têm acontecido cada vez mais tragédias de fugas desordeiras causadas por pânico em edifícios escolares, tais como, o desastre ocorrido em 2015 no campus da Universidade de Nairobi e a catástrofe de 2007 na Universidade do Cairo. Consequentemente, os investigadores têm prestado maior atenção para as evacuações de pessoas em universidades.

O presente trabalho foi elaborado em 2023 e enquadra-se no âmbito da unidade curricular de Dissertação de Mestrado do Curso de Engenharia Mecânica, ramo de Gestão Industrial.

1.2. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação de mestrado tem como objetivo a análise de diferentes estratégias de evacuação de um edifício escolar (ESHT) com recurso a um software de simulação. Pretende-se usar a simulação como uma ferramenta de apoio à decisão, como tal, este trabalho tem como objetivo desenvolver um modelo de simulação, utilizando o *software* de simulação Pathfinder, que permita ao utilizador simular a evacuação do edifício de estudo para identificar possíveis pontos de estrangulamento do processo de evacuação, analisar os resultados e sugerir melhorias.

1.3. METODOLOGIA DA INVESTIGAÇÃO

A elaboração da dissertação seguirá a metodologia do estudo de caso. Segundo (Crowe et al., 2011), um estudo de caso é uma metodologia de investigação que é utilizada para gerar uma compreensão profunda de uma questão complexa no seu contexto de vida real e tem como razão principal a necessidade de explorar um evento no seu contexto natural. O mesmo autor afirma que esta metodologia é abundantemente utilizada numa grande variedade de disciplinas, particularmente nas ciências sociais.

Um estudo de caso é um inquérito empírico utilizado para investigar um fenómeno contemporâneo dentro do seu contexto real (Woodside & Wilson, 2003), como tal pode ser aplicado a indivíduos ou organizações, tal como, sobre situações indefinidas e abstratas (Yin, 2009).

Para (Crowe et al., 2011), esta metodologia é composta pelas seguintes fases:

- **Definição do caso:** Nesta fase é realizado o levantamento das questões de investigação, baseadas no estado da arte e numa apreciação prévia das questões teóricas e do cenário, importantes numa sucinta definição do caso. Essencialmente, é necessário clarificar a natureza e o período abrangido pelo caso de estudo, o grupo social, organização ou área geográfica de interesse, os tipos de provas a recolher, e a propriedades para a recolha e análise de dados. A fundamentação teórica para a definição do caso pode ajudar a gerar conhecimento e é suscetível de resultar numa apreciação mais informada;
- **Seleção do caso:** A seleção do caso a estudar é uma decisão bastante importante, que merece alguma reflexão. Dependendo dos objetivos do estudo, realiza-se a seleção do caso de acordo com contexto em que está inserido e podem ser categorizados como casos intrínsecos, instrumentais e coletivos. Os casos de estudo intrínsecos são selecionados devido à sua singularidade, ou seja, não são representativos de outros casos. Nos casos de estudo instrumentais, ao contrário dos casos intrínsecos, são estudados problemas ou fenómenos. Finalizando, nos casos de estudo coletivos, são selecionados vários casos de estudo, por forma a serem comparados para aprimorar o conhecimento do fenómeno em questão. Os casos selecionados têm de ser hospitaleiros para o inquérito por forma a serem informativos para responder às perguntas da investigação;
- **Colheita e análise de dados:** De forma a compreender o caso de estudo, é necessária a recolha de múltiplas fontes de prova através de técnicas quantitativas, tais como, questionários, auditorias e análise de dados recolhidos de forma rotineira; técnicas qualitativas, como por exemplo, entrevistas, grupos focais e observações. Para aumentar a credibilidade e validade de um estudo, é defendida a utilização de múltiplas fontes de dados (triangulação de dados);
- **Análise, interpretação e reportação de dados:** Num processo de análise, é necessária uma revisão e classificação repetida de dados volumosos e detalhados. Ao reportar os resultados, é importante fornecer ao leitor a informação contextual necessária para a compreensão dos procedimentos que foram seguidos e a forma como as conclusões foram alcançadas.

1.4. APRESENTAÇÃO DA ESCOLA SUPERIOR DE HOTELARIA E TURISMO

O local de estudo da dissertação é a ESHT - Escola Superior de Hotelaria e Turismo (ver Figura 1) que se encontra no Campus 2 do Instituto Politécnico do Porto. Este mesmo campus situa-se na linha fronteira dos concelhos da Póvoa de Varzim e Vila do Conde e alberga a ESHT e a Escola Superior de Media Artes e Design. Este campus possui laboratórios, restaurantes, três anfiteatros, um auditório e uma biblioteca (ESHT & P.Porto, 2016a).



Figura 1 - Escola Superior de Hotelaria e Turismo (ESHT & P.Porto, 2016b)

O Campus 2 do P.Porto apresenta um conjunto de espaços que se repartem em sete blocos (do A ao G). O bloco da ESHT é o D (ver Figura 2), um edifício de dois andares, composto por salas de aulas teóricas, espaços de *showcooking*, uma cozinha de produção central, cozinhas individuais, uma cozinha especializada em pastelaria/padaria, sala de provas (de enologia, azeites ou cafés), Bar, Restaurante de Aplicação, um laboratório de físico-química alimentar e o laboratório de microbiologia alimentar (ESHT et al., 2022).

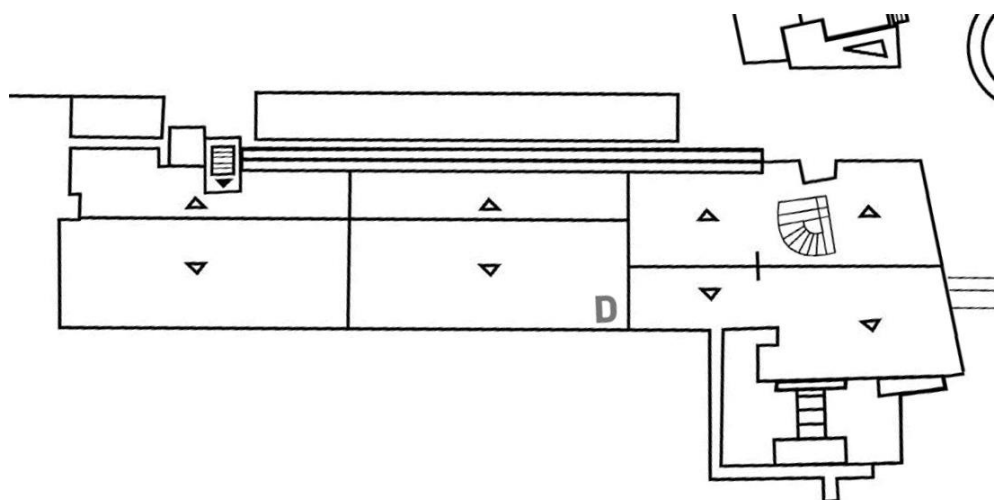


Figura 2 – Bloco D do Campus 2 do P.Porto (ESHT et al., 2022)

1.5. CONTEÚDO E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação encontra-se dividida em 4 capítulos.

No capítulo 1 é descrito o enquadramento do trabalho, os objetivos da investigação, a metodologia utilizada para a elaboração do trabalho e é feita uma introdução ao local de estudo.

O capítulo 2 pretende dar a conhecer uma revisão da literatura, apontando vantagens e desvantagens da utilização da simulação como ferramenta de apoio à decisão e é realizada uma explicação baseada em fundamentação teórica sobre a evacuação de edifícios, a respetiva legislação e softwares de simulação.

No capítulo 3 é descrita a configuração do edifício estudado, a modelação do sistema de simulação, as estratégias estudadas e os resultados obtidos.

No capítulo 4 são tecidas as conclusões finais e as propostas de possíveis trabalhos futuros.

Por último, são apresentadas as referências bibliográficas que consolidam os temas abordados e que serviram de base para o desenvolvimento da presente dissertação.

2. REVISÃO DA LITERATURA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO

Hoje em dia, numa era de bastante competitividade em que a maioria das empresas realiza esforços para diminuir custos, a simulação é cada vez mais utilizada para testar diferentes hipóteses para diminuir o risco de falha num sistema real e conseqüentemente os possíveis prejuízos que advêm dessa falha (Menghal & Laxmi, 2012).

Segundo (Banks, 1999), “a simulação é a imitação de uma operação de um processo ou sistema do mundo real ao longo do tempo” e para (Carson, 2005) é uma ferramenta poderosa para a avaliação e análise de novas concepções de sistemas e modificações dos sistemas existentes.

Como as exigências industriais mudam a um ritmo acelerado devido à drástica evolução da tecnologia, surge mais intensamente do que nunca a necessidade de investigar e conceber sistemas de fabrico mais eficientes. A simulação de sistemas de fabrico provou ser uma ferramenta poderosa para a concepção e avaliação dos sistemas de fabrico por causa do seu baixo custo, análise rápida, baixo risco e visão significativa que pode proporcionar, melhorando assim a compreensão da influência de cada componente (Mourtzis, 2020).

2.1.1. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA SIMULAÇÃO

A simulação, tal como outras ferramentas, apresenta vantagens e desvantagens que podem ser observadas em diversa literatura. Seguidamente são apresentadas diversas vantagens da utilização da simulação (Banks, 1999; Carson, 2005; Ferreira et al., 2012; Shannon, 1998):

- Permite testar diversos cenários de forma a otimizar processos;
- Nos sistemas de fabrico e de produção, a simulação permite aos engenheiros de produção testar novas configurações no processo produtivo sem a necessidade de comprometer os recursos, cujos custos seriam elevados;
- Possibilita o reconhecimento de pontos de estrangulamento e outros problemas antes de qualquer modelação de um sistema de forma a otimizar o seu funcionamento;
- Através da simulação, é possível estudar um sistema que abrange um período longo num período comprimido;
- A simulação pode ser utilizada para explorar novas políticas de classificação de recursos, procedimentos operacionais, regras de tomada de decisão, estruturas de organização e fluxo de informação, sem a necessidade interromper o funcionamento normal do sistema;
- Pode ser utilizada para testar hipóteses explicativas sobre o como e o porquê de um fenómeno específico ocorrer num sistema;
- Permite a modelação de novos *designs* e *layouts*, sem que os recursos da sua implementação sejam comprometidos;

- A grande virtude da simulação é a sua capacidade de permitir a experiência com situações novas e desconhecidas e de permitir responder a perguntas do tipo “e se”.

Apesar das vantagens previamente enumeradas, a simulação também apresenta inconvenientes, tais como (Ferreira et al., 2012; Shannon, 1998):

- A simulação não oferece soluções ótimas para problemas casos de estudo, permite, contudo, avaliar o comportamento do sistema de acordo com cenários específicos, que são criados pelo analista para os fins a que se destina;
- Se o modelo não constituir uma representação válida do sistema em estudo, os resultados da simulação não produzirão muita informação útil sobre o sistema real;
- A modelação por simulação é uma arte que requer formação especializada, como tal, os níveis de competências dos praticantes variam muito. A utilidade do estudo depende da qualidade do modelo e das competências de quem está a modelar;
- A recolha de dados altamente fiáveis, para definir parâmetros de iniciação, pode ser demorada e os dados resultantes são, por vezes, muito questionáveis. A simulação não pode compensar dados inadequados ou más decisões de gestão;

2.2. EVACUAÇÃO DE EDIFÍCIOS – CASOS DE ESTUDO

Relativamente ao tema desta dissertação, atualmente, a simulação é bastante utilizada para prevenção e redução de desastres, porque é uma ferramenta de apoio à decisão que permite analisar e avaliar diferentes ambientes de evacuação com o propósito de otimizar o tempo de todo o processo (Ullrich & Lückerath, 2017).

No estado da arte, existem diversos artigos no sector da simulação de evacuação de edifícios, como tal, na Tabela 1 são apresentados diversos casos de estudo.

Tabela 1 – Exemplos de casos de estudo de evacuação de edifícios com recurso a simulação

Referências	Descrição
(Choi, 2021)	Este estudo teve como objetivo analisar a segurança e o tempo de evacuação de uma escola secundária utilizando o programa de simulação Pathfinder. É uma escola com 4 pisos, 4 zonas de evacuação (saídas). A 1ª e a 3ª zonas de evacuação são compostas por uma rampa (com um grau de inclinação de 15º) e uma escadaria, respetivamente. Foram estudados 4 cenários possíveis com diferentes iterações do nº de alunos em cada andar do edifício. Foi possível concluir que todos os cenários se mostraram válidos para cumprir uma evacuação em segurança, visto que o RSET foi inferior ao ASET de 4 minutos em todos os casos e que a rampa na 1ª saída do edifício é apropriada para uma evacuação devido ao seu grau de inclinação. Transformar a escadaria da 3ª saída numa rampa iria aumentar o tempo de evacuação da mesma, não obstante, a evacuação ocorreria dentro do tempo disponível.

(Qin et al., 2020)	Este trabalho analisa, com recurso à simulação no software Pathfinder, a evacuação numa situação de incêndio numa estação de metro em Xangai, China. Nesta simulação, foram realizadas diferentes iterações relativamente à taxa de fluxo na estação. Os resultados mostraram que deve ser evitado que dois comboios cheguem simultaneamente à estação de estudo, existindo um estrangulamento populacional nas escadas da plataforma, pelo que, o foco na evacuação, é o de aliviar a pressão nas mesmas. Também foi possível achar a relação ótima entre o número de pessoas no comboio e o número de pessoas na plataforma para que o tempo de evacuação seja inferior ao tempo disponível para a mesma.
(Wu et al., 2015)	Este estudo consiste na simulação de uma evacuação numa cantina de uma faculdade utilizando o programa buildingEXODUS. Sugere que o estudo comportamental numa evacuação necessita de conhecimentos na área da psicologia e da sociologia, não podendo as características comportamentais humanas ser incluídas nos modelos de simulação, pelo que estes devem ser mais abrangentes e mais padronizados. O caso prático do estudo permitiu perceber, as saídas onde podem ser aplicadas alterações para evitar pontos de estrangulamento populacional.
(Ding et al., 2015)	Esta abordagem elenca diferentes estratégias de simulação da evacuação de um prédio alto de 28 andares. Através de várias simulações no software Pathfinder definiram-se várias estratégias para otimizar uma evacuação de pessoas de várias idades e diferentes características de mobilidade. Foi possível constatar que uma estratégia de utilizar os elevadores e as escadas em simultâneo, com ordem de prioridade ascendente (dos pisos inferiores para os pisos superiores), permite uma evacuação mais eficiente.
(Han et al., 2021)	Neste estudo foi realizada uma simulação de uma evacuação num centro comercial no distrito de Weiyang, Xi'an, na China. Inicialmente, foi realizada uma recolha de dados para determinar a distribuição das pessoas no shopping durante as horas de ponta. De seguida, foi realizada uma simulação com o software Pathfinder e com base no tempo de evacuação e com os pontos de estrangulamento evidenciados, foram adicionadas mais passagens e pessoal para orientar durante a evacuação. Neste trabalho, os resultados das simulações realizadas mostram que o esquema de otimização do shopping é viável e eficiente.
(Xiao et al., 2021)	Este trabalho consistiu numa simulação e otimização de uma situação de evacuação de emergência numa biblioteca universitária. O local de estudo foi a biblioteca do campus principal da Universidade Técnica de Liaoning, que foi modelada através do software Pathfinder. Para a simulação, foi considerada a densidade de pessoas no espaço, os seus

atributos físicos e velocidade para analisar o efeito da quantidade e localização dos objetos empilhados e o efeito do número de itens, tais como mesas, cadeiras e estantes. Na primeira simulação a biblioteca foi modulada, tal e qual como se apresentava, pelo que o resultado do tempo total de simulação foi superior ao tempo disponível da mesma, logo a evacuação falhou. No segundo ensaio, através doutro planeamento relativamente ao posicionamento de secretárias, cadeiras, estantes e materiais publicitários e a retirada de obstáculos nas escadas de evacuação permitiu reduzir o tempo de evacuação a fim de que a mesma fosse realizada com sucesso.

(Xiao et al., 2022)

Neste artigo foi concretizada uma simulação de uma evacuação de emergência durante a construção de edifícios pré-fabricados. Este estudo utilizou o software PyroSim para simular uma situação de incêndio baseada no tamanho e volume de um edifício pré-fabricado em construção. Através deste software foram analisadas as variações de visibilidade (que foi diminuindo com o aumento do fumo), a concentração de CO e a temperatura ambiente no local de forma a encontrar o tempo disponível para uma evacuação segura (ASET). De seguida foram realizadas simulações com o software Pathfinder, com base na distribuição do pessoal, atributos físicos, velocidade e modelação do edifício e localização de possíveis obstáculos (máquinas e materiais), de forma a descobrir o tempo de evacuação (RSET). A utilização destes softwares em simultâneo mostrou-se eficaz para determinar uma solução ótima para o layout construtivo de forma que o plano de evacuação cumpra com os requisitos legais, em que o RSET seja inferior ao ASET.

(Sudte & Patvichaichod, 2020)

Este estudo reflete uma análise de diferentes estratégias de evacuação de um arranha-céus habitacional em Bangucoque, Tailândia, com recurso a simulação no programa Pathfinder. Quatro cenários diferentes foram objeto de análise. Num primeiro cenário concluiu-se que a existir um incêndio no 13º andar com as escadas de emergência todas funcionais, existirá uma sobrepopulação e uma diminuição na fuga quando as pessoas dos andares superiores se cruzam com as pessoas dos andares inferiores. Também foi possível inferir que em caso de incêndio no 35º andar (2º cenário), existiu estrangulamento na porta de incêndio, o que tornou a evacuação mais lenta. No 3º e 4º cenário pôde-se concluir que com o bloqueio de alguma saída de evacuação, o tempo total de evacuação aumenta consideravelmente.

(Kai et al., 2020)

Neste estudo simulou-se a evacuação de um hotel (em caso de incêndio) recorrendo ao software FDS e ao Pathfinder. O local de análise foi um hotel de quatro andares modelado com uma área total de 2681 m², com três escadarias de evacuação. Os resultados mostram que, nesta situação, o tempo necessário para uma evacuação em

segurança é maior do que o tempo de evacuação disponível, logo a mesma não seria concluída. No estudo são também sugeridas 3 soluções de otimização apresentadas a discussão: a instalação de um sistema mecânico de extração de fumos nas escadarias de incêndio, para prevenir a difusão de fumos e manter a visibilidade no local; melhorar a as indicações das saídas de emergência; otimização do sistema de alarme para reduzir o tempo de detecção de fogo e consequentemente diminuição o tempo total de evacuação.

(Jiang et al., 2021)

O objetivo deste estudo foi o desenvolvimento de procedimentos operacionais (SOP) para uma efetiva evacuação de segurança contra incêndios em dormitórios universitários. Neste projeto foi utilizado o PyroSim para simular o fumo do incêndio e analisar o tempo de evacuação disponível (ASET). Também foi realizada modelação em Pathfinder para simular a evacuação de pessoas e descobrir o tempo total de evacuação (RSET). Com base na simulação, é apresentado um procedimento operacional (SOP) para a avaliação de dormitórios escolares. Para verificar a aplicabilidade do SOP, foram utilizados dormitórios reais na simulação. Depois de realizadas as simulações, foi possível concluir que o número de caminhos de evacuação verticais (escadas, elevadores) e a ventilação dos edifícios, têm bastante importância numa evacuação eficiente. Também se constatou que durante a noite o elevado tempo de resposta no decorrer da evacuação levou a um aumento do tempo de evacuação, como tal é necessário instalar um alarme de incêndio eficaz para diminuir o tempo de resposta.

(Y. Li et al., 2020)

A fim de analisar o efeito de uma evacuação de emergência em dormitórios antigos de universidades, foi realizado este estudo com recurso ao software Pathfinder para simular seis cenários diferentes de evacuação. Nos diferentes cenários, foi simulada a simulação para apenas uma saída de emergência disponível (Cen1), duas saídas de emergência abertas de forma normal (Cen2), barreiras a impedir a passagem dos residentes no 1º, 3º e 5º andar (Cen3, 4 e 5) e por último uma distribuição das pessoas com base no género (Cen6). Foi possível concluir que os residentes têm de ser treinados, de forma a diminuir o tempo de resposta em caso de emergência; as saídas de emergência têm de ser abertas de forma normal de forma a reduzir o tempo de evacuação; distribuir os residentes de forma planeada, ou seja, as pessoas com maior passada devem ficar nos andares de cima, sendo que a maioria da população residente terá de ficar instalada nos andares inferiores.

(Wang et al., 2021)

Este estudo teve como finalidade analisar e descobrir um modelo matemático para uma evacuação de um edifício de ensino de uma faculdade em Pequim. Com base em observações de campo, comportamento de multidões, ambiente, arquitetura do edifício e

gestão de emergências, foi construído um modelo matemático de simulação de uma evacuação. Para realizar a simulação numérica dos traços individuais, comportamento das multidões e ambiente foi utilizado o software buildingExodus. Os resultados experimentais mostraram que a comunicação entre as pessoas, o tempo para o evento e o tempo de reação teve pouco impacto no tempo total de evacuação. Por outro lado, a agilidade das pessoas, familiaridade com o edifício e paciência tiveram uma grande influência no tempo de evacuação.

(M. Xu & Peng, 2020)

Este artigo incidiu na exploração e análise da segurança em caso de incêndio em edifícios universitários. Neste estudo, o edifício, de 2 andares com 3 escadarias e 4 saídas de emergência, foi importado para o software PyroSim para simular o incêndio que de forma arbitrada deflagra numa sala de aula no 2º andar. Através do PyroSim, foi possível concluir o tempo que o fumo provocado atingiu a altura crítica (baseada na média de alturas dos estudantes) nas diversas escadarias e saídas de evacuação. Posteriormente foi efetuada a simulação da evacuação no software Pathfinder para descobrir o tempo de evacuação nas diferentes saídas. Os resultados deste estudo permitem fornecer dados e referências para outros estudos sobre a segurança em caso de incêndio em edifícios escolares semelhantes.

(M. X. Li et al., 2018)

Neste estudo foi analisada uma evacuação em segurança em caso de incêndio na biblioteca da Universidade de Nanjing, China. Para obter o tempo disponível para uma evacuação em segurança, sem qualquer risco para a saúde humana, foi utilizado o PyroSim que permitiu decifrar (através de uma análise dos diferentes valores de temperatura, altura do fumo, visibilidade e concentração de CO) que o tempo máximo disponível para evacuar a biblioteca e a sala de leitura é de 280s e 125s, respetivamente. Através do software Pathfinder fez-se a simulação da evacuação e os resultados da mesma revelaram que na biblioteca e na sala de leitura, o tempo de evacuação foi de 411s e 165s, na devida ordem. Foi possível concluir que a evacuação não é possível dentro do tempo limite para que a mesma ocorra, sendo que os autores descrevem que a razão para a evacuação falhar é a saída do 3º andar e os corredores estreitos que ficam congestionados durante a evacuação.

(Chiu et al., 2018)

Este trabalho teve como objetivos: realização de uma revisão da literatura de diversas evacuações de grande escala na história, identificando o número de vítimas e explorar a pesquisa existente em debandadas de multidões; examinar a aplicabilidade, através de uma análise comparativa, entre o software EXODUS e o Unity para a simulação de uma evacuação sobre as mesmas condições; fazer diversas simulações no software Unity com diferentes combinações do número de ocupantes, tamanho do espaço a evacuar, tamanho da

saída de emergência e o tamanho de um obstáculo para redirecionar o sentido de fuga das pessoas. Foi possível concluir que os resultados obtidos no software Unity assemelharam-se mais com os resultados do caso experimental do que no software EXODUS. As simulações no Unity demonstraram que a instalação de um obstáculo de redirecionamento (em forma de pilar) numa zona frontal à saída de emergência mostrou-se crucial para reduzir o tempo de evacuação. Em particular, a evacuação mostrou-se mais eficaz quando a largura do pilar é equivalente à largura da saída de emergência, porque o tempo de evacuação diminuiu 25%.

(Zhang et al., 2022)

Este estudo teve como objetivo a análise de uma evacuação simulada de um anfiteatro de grande dimensão durante um incêndio. Primeiro foi criado o modelo 3D de um anfiteatro de grande tamanho (com capacidade para 1500 pessoas). Recorrendo ao software PyroSim e Pathfinder foi simulada a disseminação do fumo e a evacuação das pessoas para determinar se toda a lotação consegue ser evacuada. Concluiu-se que é difícil proceder à evacuação devido à elevada densidade populacional e à construção complexa de um anfiteatro de grande dimensão. A tragédia poderia ser resolvida com o alargamento das saídas de emergência, sinalização e um staff capaz de orientar as pessoas e com o funcionamento de meios de combate a incêndio.

(Xinhai et al., 2021)

A intenção deste artigo foi estudar a evacuação do staff de um hotel usando ao software Pathfinder. O hotel objeto de estudo localiza-se em Xi'an, China, compreende 11 andares e duas escadas de evacuação. Na simulação foi arbitrado que o incêndio deflagrava no oitavo andar e que para minimizar um congestionamento, a evacuação do 11º e dos 6 primeiros andares tem início nos 60s após o início do incêndio. No andar onde deflagrou o fogo (8º) e ainda nos 7º, 9º e 10º pisos, a evacuação não sofreu nenhum atraso. Foi possível concluir que a evacuação cumpre os requerimentos necessários e tem o seu término aos 657s.

(Zheng et al., 2022)

Neste estudo abordaram-se diferentes estratégias de evacuação de incêndio de uma biblioteca universitária com recurso a simulação. Preliminarmente modelou-se o edifício de análise no software Revit numa escala de 1:1. De seguida, determinou-se a passagem de evacuação com maior taxa de utilização, no software Pathfinder, para definir como "pior cenário" um incêndio a deflagrar junto desse local. No PyroSim determinou-se a propagação do fumo, concentração de CO, temperatura em todas as saídas das escadas de incêndio. Aferiu-se que a evacuação foi efetuada em 739s, mas com um aumento de sinalização de emergência, alargamento das escadas e orientação capaz de uniformizar a taxa de utilização de todas as saídas, o tempo

de evacuação diminui para os 638s, o que representa uma melhoria de 13.67% eficiência da evacuação.

(Gasparetto et al.,
2018)

Este estudo teve como objetivo analisar e comparar o tempo de evacuação de um simulacro de uma evacuação com o tempo da mesma recorrendo a simulação computacional (software Pathfinder). O edifício analisado que pertence a uma universidade pública no Brasil é constituído por 4 pisos. Os resultados demonstraram que o tempo de evacuação na simulação digital foram ligeiramente inferiores ao tempo do simulacro real, em 26.8s, porque as pessoas tiveram de percorrer menores distâncias devido à distribuição aleatória das pessoas no software. Outra razão para este resultado, foi o facto de muitas pessoas, na simulação real, terem começado a andar passado 30s desde o início da evacuação. Verificou-se que a simulação computacional é uma ferramenta válida para a identificação de falhas e para simular diferentes cenários num curto espaço de tempo, evitando assim a mobilização de pessoas para simulacros reais.

(Rahman & Sinaga,
2019)

Este estudo teve como finalidade analisar a eficácia de rotas de evacuação em hotéis e sugerir um plano de evacuação de hotel com recurso a simulação no software Rockwell Arena. O local de análise foi o Hotel Grand Kanaya em Medan, Indonésia, constituído por 6 andares, com 152 quartos e uma escadaria de emergência. Pelos resultados obtidos na simulação, a evacuação fracassa, visto que o tempo de evacuação é de 94.53 minutos, resultado superior ao tempo máximo permitido para edifícios deste tipo, que é de 60 minutos. Constatou-se que adicionando uma escadaria de emergência na zona Sudeste do edifício, o tempo de evacuação diminui para os 42 minutos.

A análise dos casos de estudo da Tabela 1 valida a importância e os benefícios da utilização de *softwares* de simulação num processo de apoio à decisão, permitindo também enquadrar o tipo de metodologia a aplicar em diferentes cenários e os seus impactos no planeamento de evacuação de edifícios ou nos diferentes objetivos pretendidos. Os resultados obtidos de diferentes simulações permitiram identificar diferentes estratégias de evacuação de edifícios, fatores que influenciam a evacuação, fases de evacuação, pontos de estrangulamento e o tempo necessário para efetuar uma evacuação de pessoas em segurança comparativamente com o tempo disponível de evacuação.

2.3. EVACUAÇÃO DE EDIFÍCIOS

O termo “evacuação” é utilizado para descrever as ações de retirada de pessoas de uma área específica devido a uma ameaça ou perigo real ou previsto. O período de tempo de retirada é elástico, na medida em que uma evacuação pode durar qualquer período de tempo e pode ocorrer mais do que uma vez ou sequencialmente no caso de existirem perigos secundários ou uma reincidência ou escalada da ameaça original (Sorensen & Sorensen, 2007).

Uma evacuação de emergência é um processo de evacuação rápida de pessoas de zonas perigosas para zonas seguras. Embora o impacto de um evento repentino possa ser pequeno no início do evento, se a situação se espalhar, é provável que cause maior impacto e mais vítimas. Por conseguinte, é extremamente necessário realizar a evacuação da área imediatamente após uma emergência (Dulebenets et al., 2019; Joo et al., 2013; H. Liu et al., 2020).

Diversas partes do mundo são caracterizadas por frequentes ocorrências de perigos naturais, como tal, o planejamento de evacuação é essencial na preparação desses mesmos perigos, especialmente em áreas propensas a riscos. Numerosos esforços de investigação têm sido direcionados para melhorar a eficiência do processo de evacuação (Dulebenets et al., 2019).

Para (Saadatseresht et al., 2009), a evacuação é um processo em que as pessoas ameaçadas são deslocadas de locais perigosos para locais mais seguros de forma que a saúde e a vida das pessoas não seja posta em perigo. Durante uma catástrofe, a evacuação deve ser conduzida com precisão e com pressa, como tal, é necessário preparar, testar e treinar um plano de evacuação adequado.

Segundo (Hiyoshi & Okabe, 2014), a criação de planos de evacuação eficazes é um desafio necessário pelo facto de existirem muitos constrangimentos nos horários das aulas, tamanho das salas, equipamentos nas salas de aula, etc; e o número de estudantes e professores em cada sala varia de tempos a tempos. Por exemplo, no Japão, as universidades têm muitos estudantes concentrados num campus relativamente pequeno com muitos edifícios altos, como tal a eficácia dos planos de evacuação é importante para garantir a segurança dos estudantes.

2.3.1. FATORES QUE INFLUENCIAM A EVACUAÇÃO

De acordo com (Gwynne et al., 1999), existem quatro critérios interligados para calcular a eficiência de evacuação de um edifício (tal como é possível observar na Figura 3):

- Ambiental: Por exemplo, a presença de calor ou de um gás nocivo podem afetar a velocidade de marcha de um evacuado e a sua capacidade para encontrar o caminho correto;
- Procedimental: formação de evacuação por parte do *staff* e dos ocupantes, conhecimento prévio do recinto por parte dos evacuados, sinalização de emergência, etc;
- Configuração do edifício: disposição do edifício, número de saídas, largura das saídas, presença de obstáculos, existência de escadas, etc;
- Comportamental: provavelmente o fator mais importante que envolve a resposta inicial dos ocupantes para o alarme de evacuação, velocidade de marcha, etc.

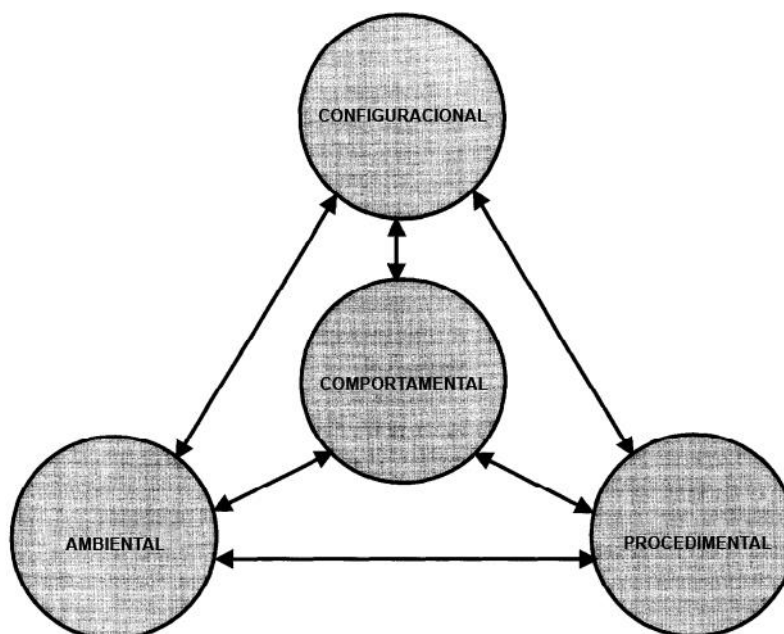


Figura 3 – Os quatro principais fatores para calcular a eficiência de evacuação de um edifício (Gwynne et al., 1999)

Os métodos tradicionais de planejamento do projeto de um edifício não analisam estes fatores de uma forma quantitativa, baseando-se no julgamento e nas regras/regulamentos de construção. Por exemplo, o movimento de marcha e o comportamento humano num processo de evacuação não são considerados pelos métodos tradicionais. Os modelos de evacuação computacionais oferecem o potencial para ultrapassar algumas destas limitações. Atualmente, os softwares de evacuação permitem a consideração dos fatores identificados como necessários para avaliar um edifício, permitindo assim responder às necessidades tanto do arquiteto como dos legisladores ao permitir a avaliação e demonstração da capacidade de evacuação de qualquer projeto de um edifício (Castle & Longley, 2008).

2.3.2. ESTRATÉGIAS E COMPONENTES DE EVACUAÇÃO DE EDIFÍCIOS

As estratégias de evacuação permitem às pessoas sair em segurança de um local, chegar a um local seguro ou permanecer num local em segurança durante uma emergência. Têm de estar alinhavadas com a legislação e com o programa global de proteção contra incêndios. A possível aplicação de diferentes estratégias depende essencialmente das características do edifício (planta, meios de saída, etc), da população envolvida do staff de salvamento e da natureza do evento e do perigo envolvido (Bukowski & Tubbs, 2016; Ronchi & Nilsson, 2013).

Durante uma emergência, o procedimento padrão é uma evacuação no sentido descendente de um edifício. No caso de não existirem condições de segurança nos pisos inferiores, a evacuação terá de ser realizada no sentido inverso em direção ao telhado, contudo esta estratégia não é aconselhável se não for estritamente necessária devido ao tamanho e à morfologia do espaço e às dificuldades no processo de salvamento dos ocupantes (Ronchi & Nilsson, 2013).

De seguida são apresentadas as principais estratégias de evacuação (Bukowski & Tubbs, 2016; Ronchi & Nilsson, 2013):

- Evacuação total do edifício: Esta estratégia envolve a evacuação imediata de todos os ocupantes do edifício para um local de refúgio. Não é uma estratégia aconselhada em edifícios altos, porque a elevada quantidade de pessoas envolvida na evacuação, pode originar concentrações e estrangulamentos nos meios de fuga;
- Evacuação faseada: Este procedimento dá prioridade aos ocupantes dos pisos mais críticos, por exemplo, em caso de incêndio, as primeiras pessoas a serem evacuadas são aquelas que estão localizadas no piso onde o fogo deflagrou e aquelas que estão em pisos próximos. Com o faseamento da evacuação, os ocupantes afastados do incêndio permanecem inicialmente no local, porém podem ser evacuados mais tarde, se as condições do evento assim o justificarem. Esta estratégia é normalmente adotada com a finalidade de diminuir o tempo de fila e a densidade de pessoas nos meios de evacuação;
- Estratégia *defend-in-place*: Também conhecida como a estratégia *protect-in-place* é normalmente utilizada para pessoas com deficiência e problemas de mobilidade. Nesta situação, as pessoas são aconselhadas a permanecer no local e a esperar pelos socorristas. Esta estratégia é tipicamente utilizada em locais protegidos com aspersores automáticos e divisões resistentes ao fogo e à propagação de fumos;
- Evacuação retardada: Nesta estratégia, a evacuação sofre um atraso deliberado e tem lugar quando os evacuados estão temporariamente à espera das equipas de salvamento numa área de refúgio. Este tipo de evacuação é normalmente utilizado quando os ocupantes apresentam ferimentos temporários ou permanentes, visto que podem necessitar de ajuda externa para chegar a local seguro.

Várias estratégias de evacuação podem ser concebidas utilizando um ou mais componentes de evacuação (Kulkarni & Agashe, 2016), tais como:

- Escadas: As escadas são o meio de saída tradicional e seguro para evacuar um edifício. Devem ser protegidas contra a entrada de fumo, de forma que a evacuação não seja atrasada e as pessoas não sofram danos. Em edifícios altos, as escadas são normalmente pressurizadas para evitar a propagação de fumo através de fendas construtivas e as portas estão abertas para permitir o acesso (Bukowski & Tubbs, 2016);
- Elevadores: A utilização de elevadores em evacuações tem sido alvo de grande discussão na comunidade de investigação e o conceito tradicional que os elevadores não devem ser utilizados durante uma emergência foi descartado pela necessidade de procurar métodos mais rápidos e eficazes na evacuação de edifícios altos e pela sua eficácia na evacuação de pessoas com mobilidade reduzida. Apesar das vantagens previamente enumeradas, existem vários problemas associados a meio. O espaço limitado dos elevadores pode provocar o esmagamento das pessoas e em caso de incêndio, o fogo, os fumos e as temperaturas elevadas podem infiltrar-se no elevador (Ronchi & Nilsson, 2013);
- Pontes (*sky-bridges*): As *sky-bridges* ligam edifícios adjacentes e constituem um meio de evacuação horizontal (Ronchi & Nilsson, 2013). Na cidade de Minneapolis, EUA, e em Calgary, Canadá, estas pontes ligam os edifícios do centro da cidade, geralmente ao nível do segundo andar, servindo como possíveis meios de evacuação e de proteção às temperaturas exteriores que se fazem sentir no Inverno (Wood, 2003);

- Pisos de refúgio: Estes locais proporcionam uma área de refúgio temporária, útil para pessoas de mobilidade reduzida e pessoas feridas numa estratégia de evacuação retardada (ou com atraso). A utilização destes meios, gera consternação na comunidade investigadora, porque em diversos simulacros, as pessoas evacuaram para o local de refúgio mais próximo enquanto aguardavam novas instruções, causando sobrelotação do espaço com os ocupantes a bloquear o fluxo de saída (Bukowski & Tubbs, 2016);
- Outros meios de evacuação: Para além dos componentes de evacuação, podemos encontrar outros meios, tais como helicópteros, para-quedas, cordas, escorregas e elevadores temporários (Ronchi & Nilsson, 2013).

2.3.3. FASES DO PROCESSO DE EVACUAÇÃO E TEMPOS DE EVACUAÇÃO

Para (Siikonen & Hakonen, 2003), o tempo desde o início de uma emergência até todos os ocupantes alcançarem uma área de segurança pode ser dividido em três fases, tempo de reconhecimento (t_p), tempo de reação (t_r) e o tempo de movimentação (t_e).

O tempo crítico de uma evacuação (T_{crit}) é definido como o limite de tempo para uma evacuação ser realizada em segurança e pode ser demonstrada na seguinte fórmula (Siikonen & Hakonen, 2003):

$$t_p + t_r + t_e \leq t_{crit} \quad (1)$$

O tempo de reconhecimento e o tempo de reação são partes integrantes do denominado tempo de pré-movimentação, que é para muitos o principal período durante uma evacuação. A sequência de comportamentos manifestados nesta fase servem como base para uma abordagem de engenharia sobre o comportamento humano durante uma evacuação (Forsberg et al., 2019). Vários estudos de incidentes têm provado que existe uma relação entre um atraso no início de uma evacuação e o número elevado de mortes e feridos em incêndios, nomeadamente em edifícios residenciais e hotéis. Consequentemente, o tempo de pré-movimentação e o comportamento pré-movimentação são atualmente considerados como aspetos-chave do processo de evacuação (Kobes et al., 2010).

A (CFPA, 2009) propõe uma estimacão dos tempos de pré-movimentação em situações de incêndio, baseando-se no tipo de alarme (W) e do tipo de ocupação do edifício, como é possível observar na Tabela 2.

Tabela 2 – Tempos estimados de pré-movimentação (CFPA, 2009)

Tipo de ocupação	W1	W2	W3
Escritórios, edifícios comerciais e industriais, escolas e universidades (Os ocupantes estão acordados e familiarizados com o edifício, com o sistema de alarme e com o procedimento de evacuação).	< 60 s	180 s	> 240 s
Lojas, museus, centros desportivos e outros edifícios de lazer (Os ocupantes estão acordados, mas podem não estar familiarizados)	< 120 s	180 s	> 360 s

com o sistema de alarme do edifício e com os procedimentos de evacuação).			
Dormitórios e edifícios residenciais médios e altos (Os ocupantes podem estar a dormir, mas normalmente conhecem o edifício, o sistema de alarme e o processo de evacuação).	< 120 s	240 s	> 300 s
Hotéis e pensões (Os ocupantes podem estar a dormir, mas estão familiarizadas com o edifício, com o sistema de alarme e com o processo de evacuação).	< 120 s	240 s	> 360 s
Hospitais, centros de cuidados médicos e outros estabelecimentos institucionais (Contêm um elevado número de pessoas que necessitam de assistência).	< 180 s	300 s	> 480 s

O W1 significa que o alarme é realizado por um sistema de comunicação por voz em tempo real, a partir de uma sala de controlo, de forma a informar a existência de uma situação de emergência e o procedimento de evacuação a ser realizado. Deve ser adotado para a pré-movimentação dos ocupantes de um espaço reduzido que esteja na origem do incêndio.

W2 reflete que as orientações do procedimento de evacuação são fornecidas através de mensagens pré-gravadas e/ou de sinalética de evacuação. Para os ocupantes de um local espaçoso em chamas, deve-se utilizar como referência o tempo de W2.

O W3, significa que o aviso de emergência é dado através do alarme de incêndio e através de funcionários sem formação para orientar os ocupantes durante a emergência. Deve-se usar o W3 como referência, quando os ocupantes estão afastados do incêndio e não conseguem ver as chamas e o fumo (CFPA, 2009).

O tempo de movimentação é o tempo desde que o primeiro ocupante abandona o edifício até ao instante em que todas os evacuados já se encontram numa área de segurança (Siikonen & Hakonen, 2003). Nesta fase, no caso de ser uma evacuação horizontal, a literatura internacional menciona que a velocidade de marcha sem obstáculos em ocupantes sem deficiências físicas varia entre 1.2 e 1.25 m/s para uma densidade populacional inferior a 0.54 pessoas/m² até 0 para uma densidade superior a 3.8 pessoas/m². Para evacuações verticais, a velocidade de marcha para pessoas fisicamente aptas, varia entre 1.1 m/s e 0.85 m/s para uma densidade populacional inferior a 0.54 pessoas/m² até 0 para uma densidade superior a 3.8 pessoas/m² (CFPA, 2009).

O tempo necessário para completar uma evacuação em segurança é conhecido como o *Required Safe Egress Time* (RSET) e o tempo disponível para uma evacuação em segurança dos ocupantes é denominado *Available Safe Egress Time* (ASET) (Babrauskas et al., 2009).

Para (Ronchi et al., 2017), a consolidação do nível de segurança num ambiente edificado através de um método baseado no desempenho depende da quantificação e comparação entre o ASET e o RSET. Para estabelecer o ASET, é necessário determinar o tempo de ignição de um incêndio e o tempo no qual gases, níveis de fumo e temperaturas violam critérios de tenacidade pré-

estabelecidos. Para definir o RSET, é necessário calcular o tempo necessário para a deteção de incidentes desde o início da emergência até ao momento em que a evacuação é concluída. A diferença entre o ASET e o RSET determina a margem de segurança, que representa o tempo decorrido desde que os evacuados são colocados em segurança até ao instante em que as condições são insustentáveis. Normalmente aplica-se um fator de segurança (α) ao cálculo do RSET devido à existência de diversas incógnitas e imprecisões em todo o processo, (tais como, a distribuição da população no início da emergência, incertezas comportamentais, entre outros). Consequentemente, temos a seguinte equação:

$$ASET - \alpha RSET = \text{Margem de segurança} \quad (2)$$

Habitualmente, define-se $\alpha \gg 1$ para assegurar que a previsão do RSET acutela todas as incógnitas (Ronchi et al., 2017).

Se a relação $ASET > RSET$ for cumprida, então considera-se que a evacuação pode ser realizada de forma segura (Babrauskas et al., 2009). Na Figura 4, é apresentado um cronograma de uma evacuação de edifícios em que podemos observar no eixo superior a descrição dos diferentes acontecimentos num processo de evacuação (Chu et al., 2012).

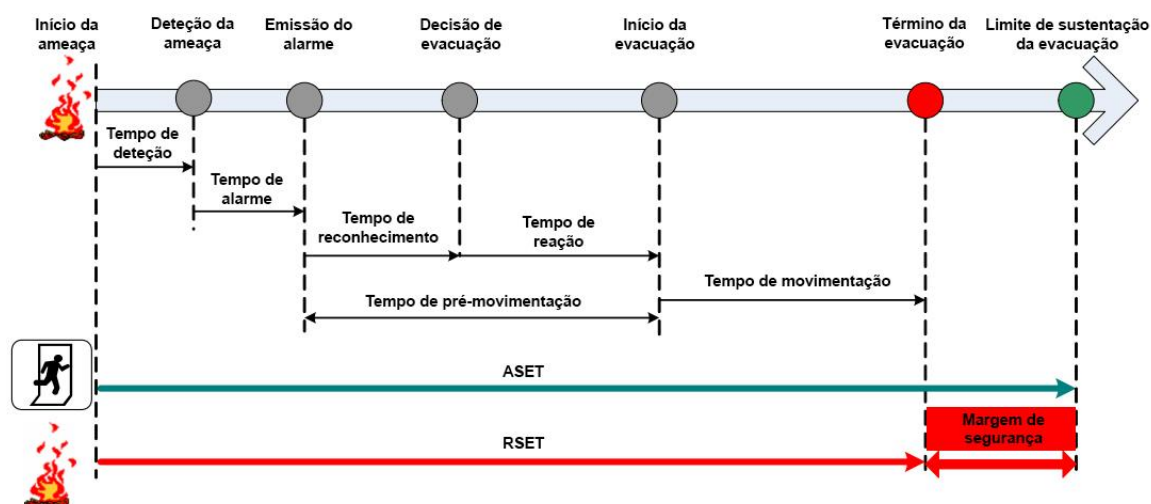


Figura 4 – Cronograma de uma evacuação de edifícios (Chu et al., 2012)

2.4. EVACUAÇÃO DE EDIFÍCIOS EM PORTUGAL – LEGISLAÇÃO

A regulamentação da Segurança Contra Incêndio em Edifícios (SCIE) foi alterada com a publicação do Decreto-Lei 220/2008 de 12 de novembro e a Portaria nº 1532/2008 de 29 de dezembro. Esta legislação veio colmatar uma lacuna existente, ao exigir medidas de autoproteção mais eficazes para todos os edifícios incluindo os existentes (Almeida et al., 2009).

De acordo com o preâmbulo do DL 220/2008 de 12 de novembro, passo a citar (Ministério da Administração Interna, 2008a):

“A legislação sobre segurança contra incêndio em edifícios encontra-se actualmente dispersa por um número excessivo de diplomas avulsos, dificilmente harmonizáveis entre si e geradores de dificuldades na compreensão integrada que reclamam. Esta situação coloca em sério risco não

apenas a eficácia jurídica das normas contidas em tal legislação, mas também o seu valor pedagógico.

Com efeito, o actual quadro legal é pautado por um edifício legislativo heterogéneo e de desigual valor hierárquico normativo. De tudo se encontra, resoluções do Conselho de Ministros, decretos-leis, decretos regulamentares, portarias, uns com conteúdo excessivamente minucioso, outros raramente ultrapassando o plano genérico.

Para além disso, verificam-se sérias lacunas e omissões no vasto articulado deste quadro normativo. Tal deve-se parcialmente ao facto de para um conjunto elevado de edifícios não existirem regulamentos específicos de segurança contra incêndios. É o caso, designadamente, das instalações industriais, dos armazéns, dos lares de idosos, dos museus, das bibliotecas, dos arquivos e dos locais de culto. Nestas situações aplica-se apenas o Regulamento Geral das Edificações Urbanas, de 1951, que é manifestamente insuficiente para a salvaguarda da segurança contra incêndio.

Perante uma pluralidade de textos não raras vezes divergentes, senão mesmo contraditórios nas soluções preconizadas para o mesmo tipo de problemas, é particularmente difícil obter, por parte das várias entidades responsáveis pela aplicação da lei, uma visão sistematizada e uma interpretação uniforme das normas, com evidente prejuízo da autoridade técnica que a estas deve assistir.

A situação descrita reflecte decerto uma opção de política legislativa que se traduziu na emissão de regulamentos específicos para cada utilização-tipo de edifícios, alguns dos quais de limitada aplicação, contrários à concepção de um regulamento geral de segurança contra incêndio, enquanto tronco normativo comum de aplicação geral a todos os edifícios, sem prejuízo de nele se incluírem disposições específicas complementares julgadas convenientes a cada utilização-tipo.

A criação do Serviço Nacional de Bombeiros e Protecção Civil e a posterior criação da Autoridade Nacional de Protecção Civil, autoridade nacional com atribuições na área da segurança contra incêndio em edifícios, competente para propor as medidas legislativas e regulamentares consideradas necessárias neste domínio, facilitou a opção pela edificação de um verdadeiro regulamento geral, há muito reclamado, estruturando-o de forma lógica, rigorosa e acessível.

Este decreto-lei, que agora é publicado, engloba as disposições regulamentares de segurança contra incêndio aplicáveis a todos os edifícios e recintos, distribuídos por 12 utilizações-tipo, sendo cada uma delas, por seu turno, estratificada por quatro categorias de risco de incêndio. São considerados não apenas os edifícios de utilização exclusiva, mas também os edifícios de ocupação mista.

Aproveita-se igualmente este amplo movimento reformador, traduzido no novo regime jurídico, para adoptar o conteúdo das Decisões da Comissão das Comunidades Europeias n.os 2000/147/CE e 2003/632/CE, relativas à classificação da reacção ao fogo de produtos de construção, e n.os 2000/367/CE e 2003/629/CE, respeitantes ao sistema de classificação da resistência ao fogo.

A introdução deste novo regime jurídico recomenda que se proceda à avaliação, em tempo oportuno, do seu impacte na efectiva redução do número de ocorrências, das vítimas mortais, dos feridos, dos prejuízos materiais, dos danos patrimoniais, ambientais e de natureza social, decorrentes dos incêndios urbanos e industriais que se venham a verificar. Tal avaliação é particularmente pertinente face a novos factores de risco, decorrentes do progressivo envelhecimento da população e da constante migração populacional para as cidades, apesar da

tendência positiva resultante da entrada em vigor dos primeiros regulamentos de segurança contra incêndios em edifícios.

As soluções vertidas no novo regime jurídico vão de encontro às mais avançadas técnicas de segurança contra incêndio em edifícios. Contudo, não se prevê que venham a ter um impacto significativo no custo final da construção, porquanto muitas dessas soluções são já adoptadas na execução dos projectos e na construção dos edifícios que não dispõem de regulamentos específicos de segurança contra incêndio. Tal deve-se largamente ao recurso à regulamentação estrangeira e, por analogia, à regulamentação nacional anterior, quer por exigência das companhias de seguros, quer por decisão do dono da obra e dos projectistas.

Importa ainda salientar que a fiscalização das condições de segurança contra incêndio nos vários tipos de edifícios, recintos e estabelecimentos, é exercida no pleno respeito pelos direitos que os cidadãos e as empresas têm a uma desejada racionalização dos procedimentos administrativos, de modo a simplificar, desburocratizar e modernizar nesta área específica a actividade da Administração Pública, tanto a nível central como local.

Neste sentido, adequaram-se os procedimentos de apreciação das condições de segurança contra incêndios em edifícios, ao regime jurídico da urbanização e edificação, alterado pela Lei n.º 60/2007, de 4 de Setembro.

Por último, cumpre também referir que o novo regime jurídico é o resultado de um trabalho longo e concertado entre especialistas designados pelo Serviço Nacional de Bombeiros e Protecção Civil e pelo Conselho Superior de Obras Públicas e Transportes, através da sua Subcomissão de Regulamentos de Segurança contra Incêndio em Edifícios.

Foram ainda recolhidos os contributos de todas as entidades consideradas como mais directamente interessadas neste domínio, como é o caso das diversas entidades públicas, não representadas na referida Subcomissão, envolvidas no licenciamento das utilizações-tipo de edifícios, recintos e estabelecimentos, designadamente das que careciam de adequada regulamentação específica na área da segurança contra incêndio.

Foram ouvidos a Associação Nacional de Municípios Portugueses, a Ordem dos Arquitectos, a Ordem dos Engenheiros, a Associação Nacional dos Engenheiros Técnicos, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil e os órgãos de governo próprio das Regiões Autónomas.”

O decreto-lei 220/2008 de 12 de novembro, no seu artigo 4º baseia-se nos princípios gerais da preservação da vida humana, do ambiente e do património cultural, como tal, tendo em vista o cumprimento dos referidos princípios, este decreto de lei é de aplicação geral a todas as utilizações de edifícios e recintos, visando em cada uma delas (Ministério da Administração Interna, 2008a):

- a) Reduzir a probabilidade de ocorrência de incêndios;
- b) Limitar o desenvolvimento de eventuais incêndios, circunscrevendo e minimizando os seus efeitos, nomeadamente a propagação do fumo e gases de combustão;
- c) Facilitar a evacuação e o salvamento dos ocupantes em risco;
- d) Permitir a intervenção eficaz e segura dos meios de socorro.

A resposta aos referidos princípios é estruturada com base na definição das utilizações-tipo, dos locais de risco e das categorias de risco, que orientam as distintas disposições de segurança constantes deste regime (Ministério da Administração Interna, 2008a).

A portaria nº 1532/2008 de 29 de dezembro no seu artigo 1º, define como objeto “a regulamentação técnica das condições de segurança contra incêndio em edifícios e recintos, a que devem obedecer os projetos de arquitetura, os projetos de SCIE e os projetos das restantes especialidades a concretizar em obra, designadamente no que se refere às condições gerais e específicas de SCIE referentes às condições exteriores comuns, às condições de comportamento ao fogo, isolamento e proteção, às condições de evacuação, às condições das instalações técnicas, às condições dos equipamentos e sistemas de segurança e às condições de autoproteção, sendo estas últimas igualmente aplicáveis aos edifícios e recintos já existentes à data de entrada em vigor do Decreto-Lei n.º 220/2008, de 12 de Novembro” (Ministério da Administração Interna, 2008b).

Consequentemente em caso de emergência, nos termos do artigo 204 da portaria nº 1532/2008 de 29 de dezembro para as utilizações-tipo devem ser definidos e cumpridos os procedimentos e técnicas de atuação, a adotar pelos ocupantes, contemplando no mínimo (Ministério da Administração Interna, 2008b):

- a) Procedimentos de alarme, que devem ser cumpridos em caso de deteção ou perceção de um incêndio;
- b) Procedimentos de alerta;
- c) Procedimentos a adotar para garantir a evacuação rápida e segura dos espaços de risco;
- d) Técnicas de utilização de meios de primeira intervenção e de outros meios de atuação em caso de incêndio que sirvam os espaços da utilização-tipo;
- e) Os procedimentos de receção e encaminhamento dos bombeiros.

Segundo o artigo 205 da mesma portaria (Ministério da Administração Interna, 2008b), um plano de emergência interno de um edifício ou recinto tem como finalidade sistematizar a evacuação enquadrada dos ocupantes da utilização-tipo, que se encontrem em risco, limitar a propagação e as consequências dos incêndios, recorrendo a meios próprios. O plano de emergência interno dever ser constituído: pela definição da organização a adotar em caso de emergência; pela indicação de um contacto das entidades internas e externas em situação de emergência; pelo plano de atuação; pelo plano de evacuação; por um anexo com as instruções a que se refere o artigo nº 199; por um anexo com as plantas de emergência, podendo ser acompanhadas por esquemas de emergência.

De acordo com o artigo 206 da portaria 1532/2008 de 29 de dezembro (Ministério da Administração Interna, 2008b), as ações de sensibilização para a segurança contra incêndio devem incluir como destinatários, nas utilizações-tipo IV (Escolar), os alunos e formandos que nelas permaneçam por um período superior a 30 dias.

Segundo (Pinheiro, 2012) da ANPC, um plano de evacuação pode ser parcial ou total e há a considerar:

- Identificação das saídas: para garantir uma evacuação rápida e segura dos ocupantes para o ponto de encontro, deve-se assinalar as saídas normais e as saídas de emergência que conduzem ao exterior dos edifícios ou recintos. São consideradas saídas normais as utilizadas em período de funcionamento regular do edifício ou recinto e as saídas de

emergência as que são utilizadas conjuntamente com aquelas, no caso de ocorrência de um sinistro;

- Definição dos caminhos de evacuação: visam encaminhar de forma rápida e segura os ocupantes para o exterior ou para uma zona isenta de perigo. Deve ser estabelecido um itinerário normal e um itinerário alternativo, quando o itinerário normal se encontrar impraticável;
- Auxílio a pessoas com capacidades limitadas ou em dificuldade: deve existir uma atribuição de responsabilidades no auxílio a pessoas com capacidades limitadas ou em dificuldade, de forma a assegurar que ninguém fique bloqueado e na eventualidade de existirem acamados, pessoas com dificuldade motora, pessoas que tenham dificuldade de reação a um alarme, deficientes ou crianças com idade inferior a 6 anos nos presentes, devem ser previamente designadas pessoas capazes de orientar e ajudar na sua evacuação;
- Identificação dos pontos críticos: deve-se considerar como pontos críticos os locais de cruzamento de vias, escadas e de saídas para a rua. Nestes locais deverão situar-se “sinaleiros” capazes de orientar as pessoas, de forma a evitar grandes concentrações, normalmente geradoras de pânico.
- Confirmação da evacuação total dos espaços: o ponto de encontro ao qual devem apresentar-se todos os utilizadores, uma vez evacuado o edifício ou recinto. Deve ser estabelecido um local que não apresente problemas de tráfego (dos bombeiros, INEM ou dos agentes de segurança e manutenção da ordem pública), onde os utilizadores possam sentir-se em segurança e afastados do foco do evento.

Para efeitos de orientação, a duração total de um exercício de evacuação não deverá ser superior a 30 minutos, sendo que pode-se considerar 10 minutos como sendo o tempo máximo para a evacuação total de um edifício e 3 minutos para a evacuação de cada piso (Pinheiro, 2012).

2.5. SOFTWARES DE APOIO À EVACUAÇÃO

Segundo (Cheng et al., 2018), os *softwares* de simulação de evacuação são ferramentas comumente utilizadas na avaliação da segurança das pessoas em edifícios ou noutros locais de aglomeração e para o planeamento das respetivas rotas de evacuação. Com o auxílio destes modelos computacionais, um número ilimitado de cenários de emergência e planos de evacuação pode ser simulado sem que seja necessário recorrer a exercícios de treino reais.

Os softwares habitualmente utilizados por investigadores para simular evacuações, têm sido o Pathfinder, FDS + EVAC, STEPS, NetLogo, Building Exodus, SIMULEX, Any Logic e o Unity 3D. É importante relevar que o Unity 3D não é um *software* construído para simular evacuações, mas sim um motor de jogos, porém demonstrou ser útil para diversos estudos devido à sua elevada versatilidade (Abir et al., 2022; Peng et al., 2019).

Programas computacionais como o Pathfinder, o Building Exodus e o SIMULEX, são maioritariamente empregados na simulação de evacuações em aeroportos, estações de metro, estádios, edifícios empresariais, etc. O SIMULEX permite a simulação da evacuação de um enorme número de ocupantes em edifícios complexos e tal como no Pathfinder, certos movimentos humanos, tais como a rotação do corpo ao passar por multidões são passíveis de ser replicados

(Peng et al., 2019). O Building Exodus é utilizado para simular parâmetros que influenciam a evacuação, tais como a paciência, tempo de reação, atributos genéticos, familiaridade com o edifício e certos movimentos como por exemplo correr, saltar e recuar podem ser atribuídos aos ocupantes (Peng et al., 2019; Wang et al., 2021).

O NetLogo, por sua vez, também é adequado para a modelação e análise de ambientes complexos, pois mostra a visualização do movimento dos ocupantes em direção às saídas em tempo real, tendo sido já utilizado para a evacuação de campus universitários, de uma rua em grande escala e para o planeamento de uma evacuação de um tsunami numa cidade costeira (Delcea & Cotfas, 2019; C. Liu et al., 2023).

O AnyLogic é uma ferramenta de modelação e simulação desenvolvida pela XJ Technologies. Permite a simulação de ambientes *indoor* e *outdoor* e é baseado na mais recente tecnologia de *design* de sistemas complexos, introduzindo a linguagem UML no campo da simulação de modelos (Feng et al., 2020; Z. Xu et al., 2022).

Para (Birajdar et al., 2020; Z. Xu et al., 2022), o FDS, desenvolvido pelo NIST (*National Institute of Standards and Technology*), é um programa essencialmente utilizado para simular incêndios, porque permite replicar fenómenos de transferência de calor e de fluídos.

O STEPS, desenvolvido por *Mott MacDonald*, trata-se de um modelo de simulação computacional baseado em agentes, no qual o caminho que um ocupante percorre até ao local de refúgio, é calculado através de um plano quadriculado, sendo que, neste software, cada ocupante preenche somente uma célula desse plano (Alonso-Gutierrez & Ronchi, 2016).

2.5.1. SOFTWARE PATHFINDER

O *software* Pathfinder foi desenvolvido pela Thunderhead Engineering e é um *software* de simulação de evacuação baseado em agentes que permite a simulação de vários grupos de movimento e de indivíduos independentes (Qin et al., 2020; Zhang & Long, 2021).

Este programa, permite simular a evacuação de edifícios com um elevado número de pessoas e de geometria complexa e fornece uma ferramenta de fácil modelação na sua interface principal que permite a importação de ficheiros DWG, IFC e outros formatos para gerar um modelo de evacuação (Thunderhead Engineering, 2023; Zhang & Long, 2021).

O Pathfinder possibilita uma previsão precisa, efetiva e económica de uma evacuação demonstrando uma solução ótima para uma evacuação realizada com a máxima segurança e com o menor tempo de evacuação (Dimic & Jevtic, 2023).

Para facilitar a parametrização dos ocupantes, o Pathfinder inclui um sistema de perfis, que permite que o usuário defina a velocidade, atraso inicial, tamanho e aparência dos ocupantes (Thornton et al., 2011).

Para (Xiao et al., 2022), o Pathfinder é um programa de avaliação de evacuação de utilização e de aplicação simples, tendo como vantagens: o facto de permitir a importação de ficheiros de modelação; realiza as simulações de forma rápida, conseguindo assim analisar a evacuação de edifícios grandes e complexos; os parâmetros que afetam a evacuação das pessoas são considerados de forma a que o cálculo seja realizado com maior precisão; permite a divisão do

modelo do edifício e determinar simultaneamente a rota de evacuação dos ocupantes escolhidos em diferentes pisos.

Este *software* possui dois modos de simulação (Zou et al., 2022):

- *SFPE (Society of Fire Protection Engineers)*: é um modo em que os ocupantes não tentam evitar o contacto entre si, ocupando o espaço de outra pessoa, como tal, neste modo não existem congestionamentos. A velocidade do movimento dos ocupantes é afetada pelo tamanho do grupo e pela largura das portas que atravessam.
- *Steering*: É o modo mais aproximado de uma situação real de movimentação. Neste modo, é mantida uma distância razoável entre as pessoas. Se o caminho de evacuação mais próximo a seguir por parte do ocupante, ficar sobrecarregado, o sistema seleciona de forma automática outros caminhos exequíveis.

O Pathfinder permite a visualização em tempo real dos resultados em 3D semelhante a um programa de reprodução de vídeo, permitindo ao utilizador reproduzir, pausar e parar a reprodução dos resultados da simulação (Thornton et al., 2011).

3. ANÁLISE DE DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE EVACUAÇÃO NUM EDIFÍCIO ESCOLAR

3.1. MODELAÇÃO DO EDIFÍCIO DE ANÁLISE

A presente dissertação tem como objetivo a análise de diferentes estratégias de evacuação de um edifício escolar. Para tal, foi selecionado o edifício D da ESHT, localizado em Vila do Conde na Rua D. Sancho I Figura 5, para a elaboração do trabalho.



Figura 5 – Vista aérea e localização da ESHT (Google, 2023)

O edifício D (Figura 6) é composto por 2 andares constituídos por 14 salas de aula, 3 cozinhas, 1 laboratório de vinhos, 1 restaurante e uma divisão que está em processo de obras com a finalidade de ser um bar (à data da elaboração do presente trabalho). A entrada e saída dos pedestres é realizada através de duas portas situadas no piso 1, sinalizadas como saídas de emergência. Para além destas portas, existem mais duas portas com a indicação de saída de emergência que habitualmente estão fechadas, sendo que uma fica na traseira da escadaria principal e a outra fica na área projetada para se tornar o futuro bar.

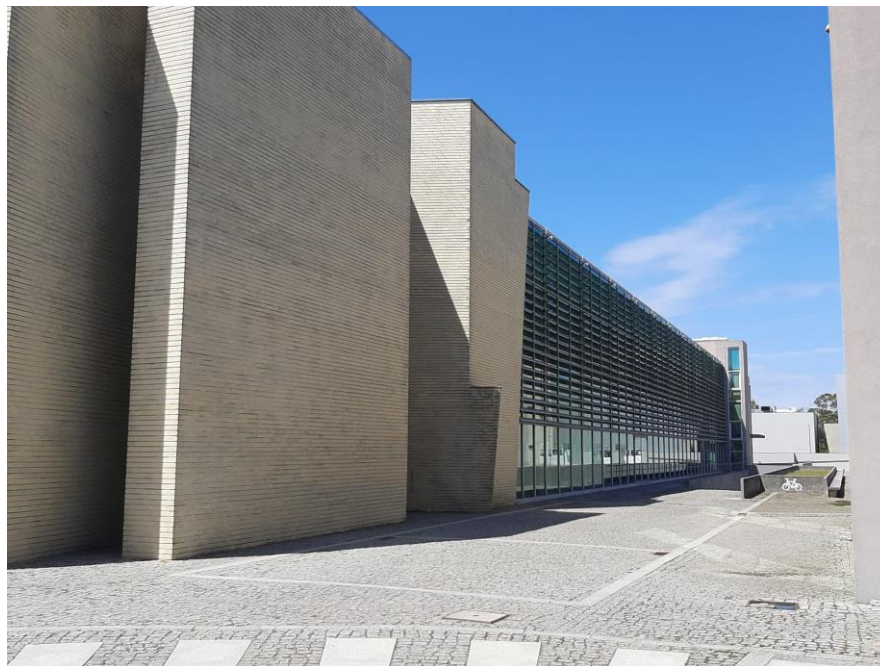


Figura 6 – Edifício D

O edifício possui 4 escadarias que ligam o piso 1 ao piso 2. A movimentação entre andares, pode também ser feita através de 2 elevadores com capacidade para 8 pessoas.

O número de ocupantes do edifício reporta-se aos alunos, professores e funcionários da Escola, sendo, contudo, difícil de determinar o número de pessoas que utiliza o espaço ao mesmo tempo.

De seguida são apresentados os pisos de forma mais detalhada.

3.1.1. PISO 1

Na Figura 7 podemos observar a planta de emergência legendada do piso 1, onde estão representados os caminhos de evacuação (setas verdes) a serem seguidos pelos ocupantes.

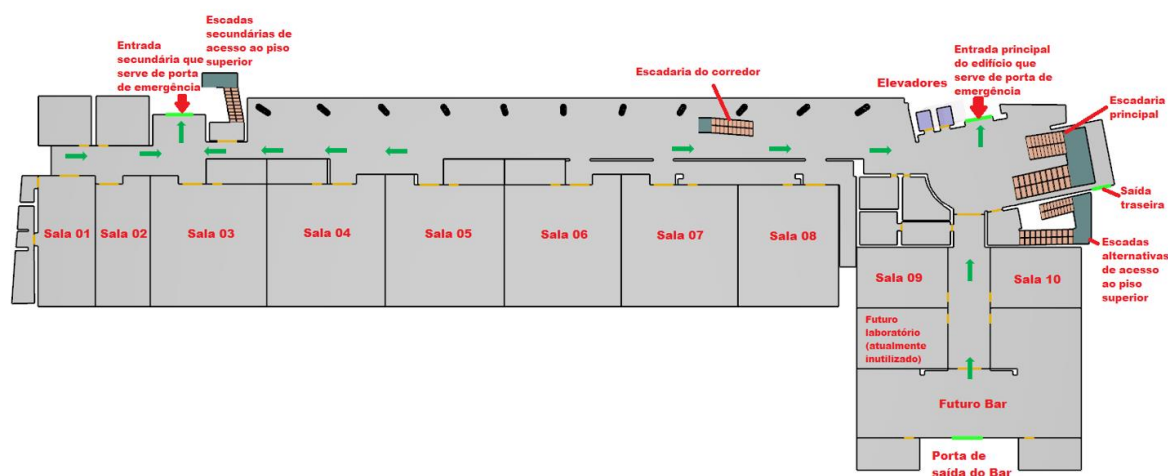


Figura 7 – Planta de emergência do Piso 1 da ESHT

Este andar possui 10 salas de aula, uma divisão destinada a ser um laboratório e uma outra divisão destinada a ser um bar (estas últimas duas divisões estão atualmente inutilizadas).

Tal como já foi descrito anteriormente, este andar possui duas portas de entrada e saída de cidadãos que estão identificadas como saídas de emergência, que se encontram sempre abertas no período escolar. Na Figura 8 podemos observar a entrada principal. Importa relevar que o sinal de sentido proibido deve ser desprezado, visto que foi colocado durante o período pandémico de COVID-19 para não permitir fluxo cruzado de pessoas.



Figura 8 - Porta principal do edifício

Seguidamente, é apresentada na Figura 9 a porta de emergência do futuro bar.



Figura 9 – Porta de emergência localizada no espaço destinado a ser um bar

Nas Figuras Figura 10 e Figura 11, podemos observar a porta de saída traseira e a porta secundária (que está sempre disponível), respetivamente.



Figura 10 – Porta traseira do edifício



Figura 11 – Porta secundária do bloco D (normalmente disponível)

A Escola apresenta sinaléticas de emergência condizentes com os caminhos de evacuação que configuram nas plantas de emergência expostas no edifício, tal como é possível ver na Figura 12.



Figura 12 – Sinalética do corredor principal a indicar o sentido da porta de emergência

Nas Figuras Figura 13 e Figura 14 estão representados dois exemplos de sala de aula pertencentes ao piso 1. No primeiro caso, podemos ver uma sala de aula prática de computadores e no segundo caso é apresentada uma sala de aulas teóricas.



Figura 13 – Sala de computadores



Figura 14 – Sala de aulas teóricas

3.1.2. PISO 2

Na Figura 15 está representada a planta de emergência do piso 2, devidamente legendada com as rotas de evacuação.

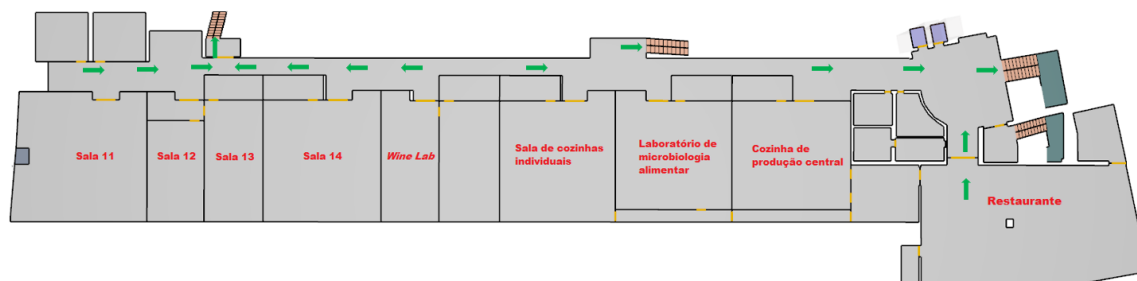


Figura 15 – Planta de emergência do Piso 2 da ESHT

Este piso contém 4 salas de aulas teóricas, um laboratório de vinhos, um restaurante de aplicação, uma cozinha de produção central que funciona maioritariamente quando existe algum evento no restaurante, uma sala de aulas práticas com cozinhas individuais e uma cozinha/laboratório de microbiologia alimentar. Nas Figuras Figura 16 e Figura 17 é possível observar a cozinha de produção central e a sala com cozinhas individuais, respetivamente.



Figura 16 – Cozinha de produção central



Figura 17 – Sala com cozinhas individuais

Tal como já foi identificado no subcapítulo 3.1, o acesso a este piso pode ser realizado através de 2 elevadores (Figura 18) e 4 escadas de acesso.



Figura 18 – Elevadores no átrio do piso 2

3.2. ESTUDO DE SIMULAÇÃO

O estudo das diferentes estratégias de evacuação da ESHT foi realizado com recurso a simulação computacional. Tal como foi abordado anteriormente, o software de simulação que permitiu realizar o estudo, foi o *software* Pathfinder.

Para a construção do modelo de simulação, foram feitas diversas medições no edifício escolar, foi necessário recolher plantas de emergência e de construção do edifício, que apesar de desatualizadas, demonstraram ser úteis para a construção do modelo semelhante ao edifício real.

Em suma, para validar o sistema, também foram conduzidas várias medições de tempo de evacuação em diferentes locais do edifício por parte de um ocupante.

3.2.1. MODELAÇÃO (INTERFACE VISUAL E ANIMAÇÃO)

O programa computacional Pathfinder, tem uma interface visual que permite ao utilizador desenvolver modelos de simulação a partir da importação de um edifício desenvolvido noutro *software* ou da construção de um edifício no próprio programa, tal como realizado neste projeto.

Na Figura 19 é exibida uma captura de ecrã, onde se pode observar a interface gráfica do programa, que é apresentada após criação de um ficheiro no Pathfinder.

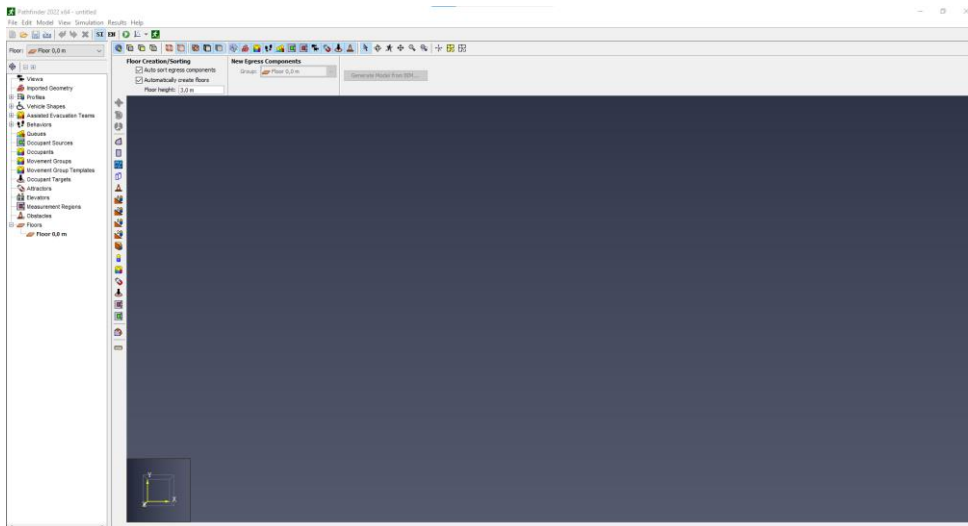


Figura 19 – Interface visual do Pathfinder

Tal como descrito anteriormente, foram recolhidas plantas do edifício de estudo e foram feitas medições antes de dar início à construção do modelo.

Através da funcionalidade “Add a Background Image”, foram importadas as plantas do Piso 1 e do Piso 2 respetivamente, para servir de fundo à edificação do modelo, de forma a simplificar o processo construtivo. Tal como é possível observar na Figura 20, é necessário definir o chamado “Anchor Point”, ou seja, o ponto de referência que determina onde a imagem é posicionada no modelo e adicionalmente, é necessário definir a escala, através da definição de uma distância previamente conhecida entre dois pontos da imagem.

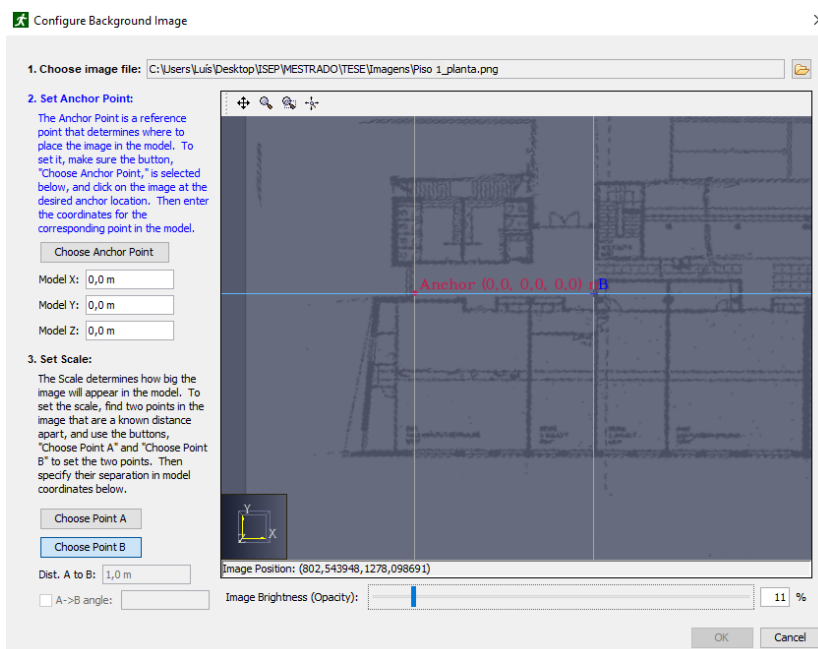


Figura 20 – Configuração da imagem de fundo

Posteriormente, para criar um compartimento, é necessário recorrer à ferramenta “Add a Rectangular Room” e “Add a Polygonal Room”, que permitem gerar as divisões do edifício de estudo. A Figura 21 mostra a criação de uma sala de aula recorrendo à ferramenta “Add a Rectangular Room”.

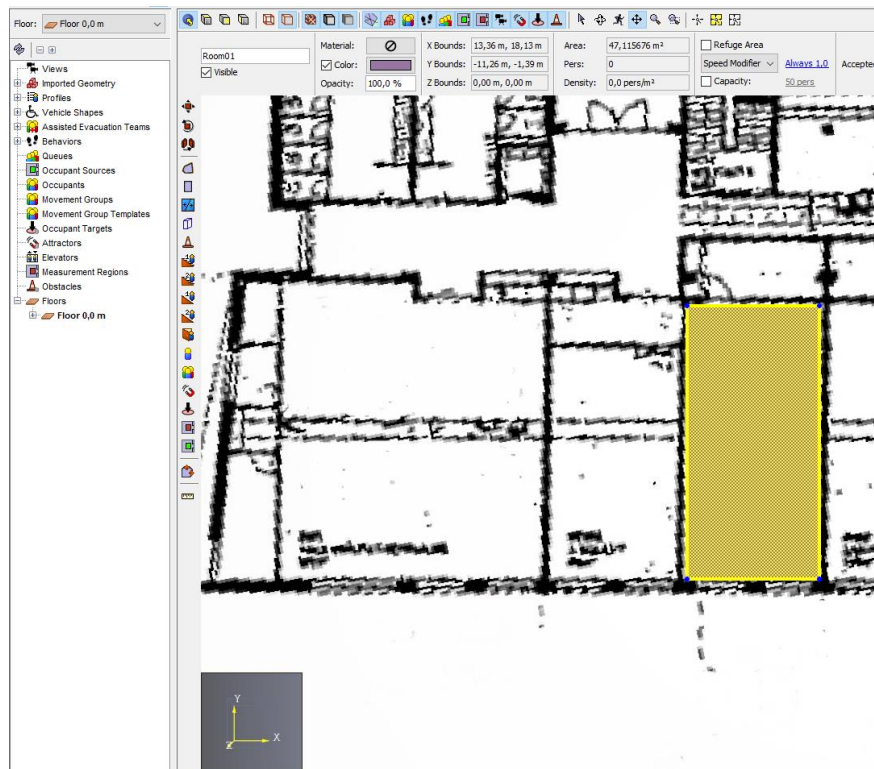


Figura 21 – Criação de uma sala de aula através da ferramenta “Add a Rectangular Room”

Após a criação da sala de aula, foi utilizada a ferramenta “Add a New Door” para inserir a porta. Inicialmente, esta ferramenta permite ao utilizador seleccionar a localização e as dimensões da porta que pretende introduzir no modelo, tal como é possível observar na Figura 22.

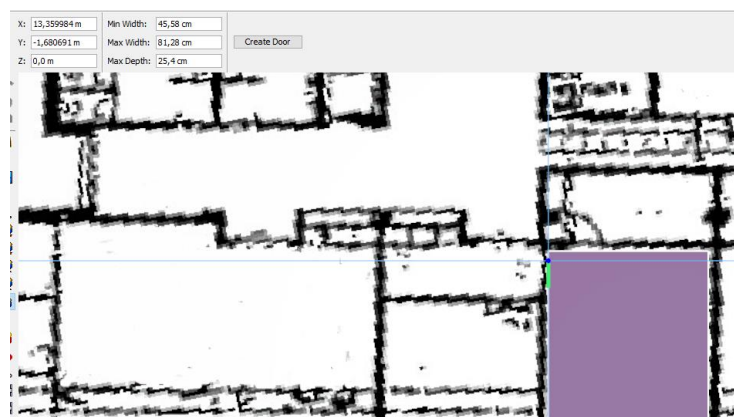


Figura 22 – Criação de uma porta no Pathfinder

Uma vez criada a porta, o utilizador pode parametrizar a mesma relativamente à sua dimensão, cor, opacidade, o seu estado, ou seja se esta encontra inicialmente aberta ou fechada, o tempo que demora a abrir e a fechar, seleccionar se os ocupantes apenas podem atravessar a porta num só sentido, e, o tempo de espera (ver Figura 23) que, tal como o nome indica, é o tempo que cada ocupante tem de esperar antes de atravessar a porta (normalmente utilizado em portas que são abertas por uma chave, “ticket gates” ou portas giratórias.). O edifício estudado, não apresenta nenhuma porta que necessite de ser parametrizada com tempo de espera.

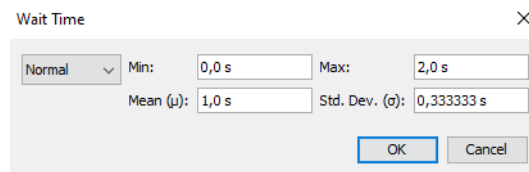


Figura 23 – Parametrização de uma porta com um tempo de espera que segue uma distribuição normal

Depois de criados os pisos e as portas, procedeu-se à criação dos elementos de ligação entre os diferentes pisos. Na Figura 24, podemos ver o processo de criação de uma escadaria através da ferramenta *“Create stairs between two edges by choosing a point on each”* que permite ao utilizador criar escadas entre duas divisões desenhadas previamente. O usuário também tem a possibilidade de definir a posição das escadas, a sua largura, o número de degraus, a cor e a sua opacidade.

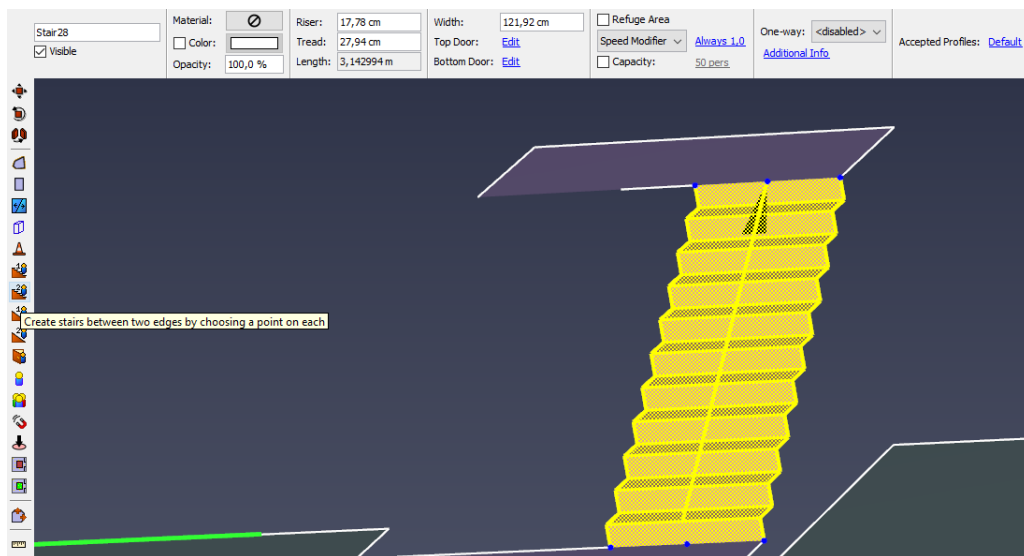


Figura 24 – Exemplo da criação das escadas

Tal como já foi referido anteriormente, a movimentação entre andares desta edificação escolar, também pode ser feita por meio de elevadores. A fim de criar esses elevadores, foi necessário criar as divisões onde os mesmos se encontram com as dimensões corretas e, posteriormente, recorreu-se à opção *“Create Elevator”*. Esta ferramenta permite definir a capacidade máxima de pessoas, o sentido de movimentação do elevador, a sua aceleração, velocidade máxima, tempo de abertura e fecho de portas, etc., conforme se pode notar na Figura 25. A única informação recolhida para a criação do elevador foi referente à sua capacidade máxima, como tal, a restante parametrização dos elevadores foi realizada a partir de medições.

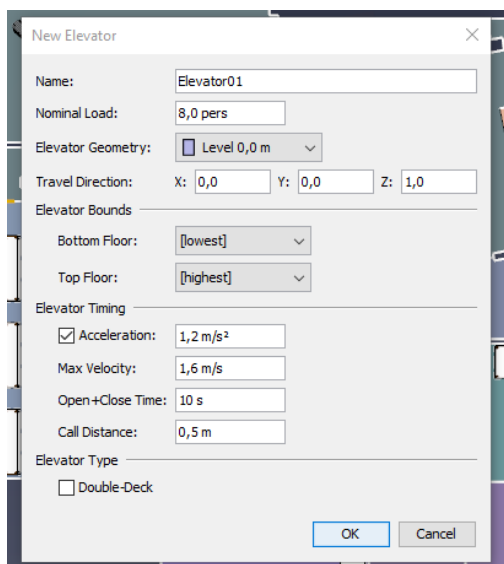


Figura 25 – Criação do elevador no Pathfinder

Depois de criados os pisos e os seus respetivos elementos de ligação, procedeu-se à criação dos obstáculos, mesas das salas de aula e os elementos dos laboratórios práticos (equipamentos de cozinha). A elaboração dos obstáculos foi realizada num software de desenho 3D e posteriormente foram importados num formato de ficheiro obj para o software Pathfinder. Depois de feita a importação, foi selecionada a opção “*Convert to Transient Obstacle*”, de forma a transformar os objetos em obstáculos para os ocupantes. A Figura 26 mostra uma vista cortada em perspetiva do piso 1 com os objetos importados convertidos em obstáculos. Também se pode denotar que as portas estão apresentadas com cores diferentes, de cor laranja, estão as portas que conectam as diferentes divisões e de cor verde, estão retratadas as portas de saída do edifício.

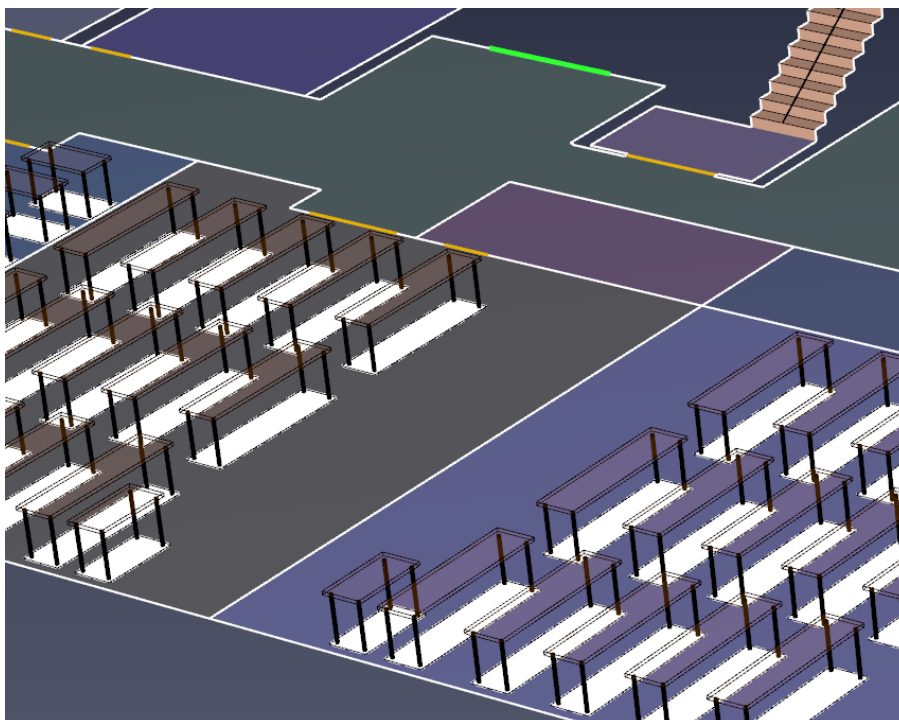


Figura 26 – Obstáculos das salas de aula

Para adicionar os ocupantes ao modelo, o Pathfinder contém a ferramenta “*Add an Occupant*”, que permite adicionar apenas um ocupante, e a ferramenta “*Add Occupants to a Region*” para adicionar o número de ocupantes definido pelo utilizador a uma determinada área.

De forma a preencher as salas de aula com algum rigor, ou seja, com os alunos distribuídos pelas mesas como se estivessem no período de aulas, foi utilizada a ferramenta “*Add an Occupant*” e, a partir do primeiro ocupante posicionado na sala de aula foram feitas cópias através da ferramenta “*Copy/Move Objects*”. Nas salas espelhadas relativamente à sala onde foram colocados os primeiros ocupantes, foi utilizada a ferramenta “*Mirror Objects*” com a opção de “*Copy Mode*” para refletir os ocupantes para as outras salas. A ferramenta “*Add Occupants to a Region*” apenas foi utilizada nas cozinhas, onde os ocupantes foram distribuídos de uma forma aleatória.

De forma a gerir a distribuição de parâmetros entre ocupantes, no *software* Pathfinder, cada ocupante tem de estar associado a um perfil, que, se não for alterado pelo usuário, apresenta as seguintes características passíveis de ser observadas na Figura 27. O usuário tem também a possibilidade de criar perfis na opção “*Add a Profile*”, podendo editá-los na ferramenta “*Edit Profile*” onde consegue controlar a velocidade, tamanho, factor de redução, diâmetro, definir se o ocupante necessita de ajuda para se movimentar, definir a utilização dos caminhos, que, o utilizador, quer que o ocupante percorra, etc.

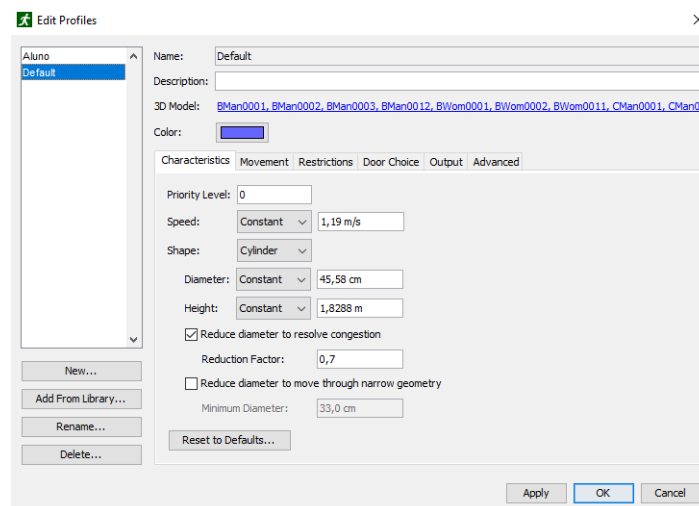


Figura 27 – Perfil aleatório gerado pelo Pathfinder

Para além dos ocupantes terem um perfil associado, também têm um comportamento gerado pelo programa. O software atribui um comportamento aleatório de evacuação para a saída mais próxima. O usuário consegue criar um perfil selecionando a opção “*Add a Behavior*”, que permite definir o tempo de espera até os ocupantes iniciarem o movimento de evacuação, definir para que saída ou local de refúgio é que os ocupantes se devem dirigir, etc, tal como se pode ver na Figura 28.

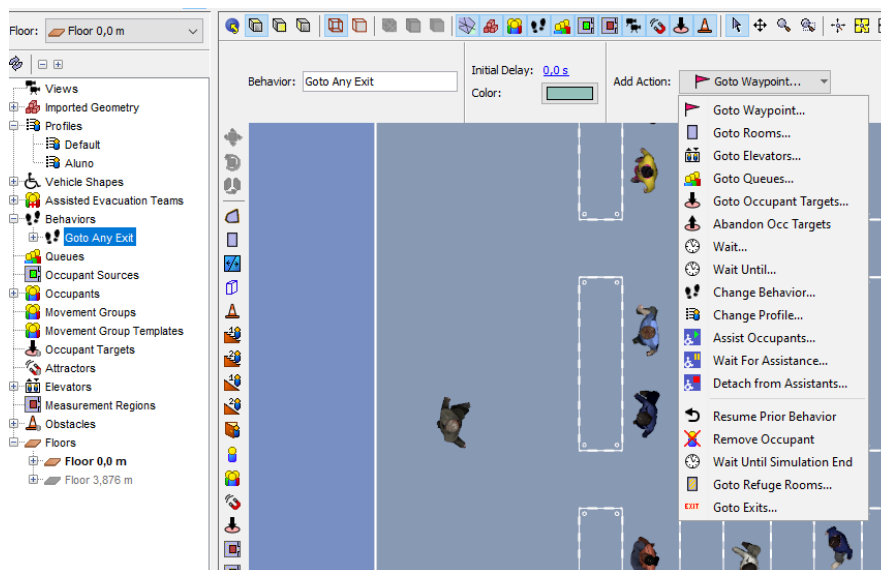


Figura 28 – Parametrização do comportamento do ocupante

O *software* Pathfinder, também permite que os ocupantes sejam divididos por grupos, ou seja, o usuário consegue simular a movimentação de pessoas com laços sociais. Para que tal ocorra, o utilizador tem que selecionar os ocupantes que pretende inserir num grupo de movimentação e deve selecionar a opção “New Movement Group From Selection”. Criado o grupo, o usuário consegue programar o perfil dos ocupantes, o comportamento, a distância máxima entre as pessoas, definir um líder, etc. Neste projeto, foi criado um grupo de movimentação por cada divisão. Na Figura 29 são apresentados os parâmetros configuráveis num grupo de movimentação.

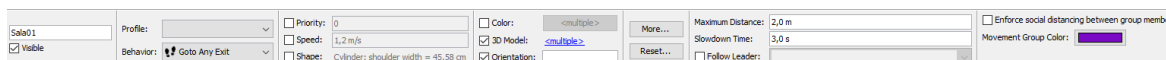


Figura 29 – Parametrização de um grupo de movimentação

Depois de construído o modelo, definiu-se o modo de simulação. Neste trabalho foi selecionado o modo *steering*, uma vez que é mais realista para a simulação da evacuação dos ocupantes.

Executada a simulação, a evacuação pode ser visualizada em 3D em tempo real, tal como se pode ver na Figura 30. Para além do formato multimédia apresentado ao utilizador para observar os resultados, é possível ver os resultados em forma de gráfico, tais como a utilização das divisões (número de ocupantes da divisão por tempo) e o fluxo de pessoas que atravessa um elemento de ligação no decorrer do tempo da evacuação. Adicionalmente, é criado um ficheiro de bloco de notas com o resumo dos resultados.

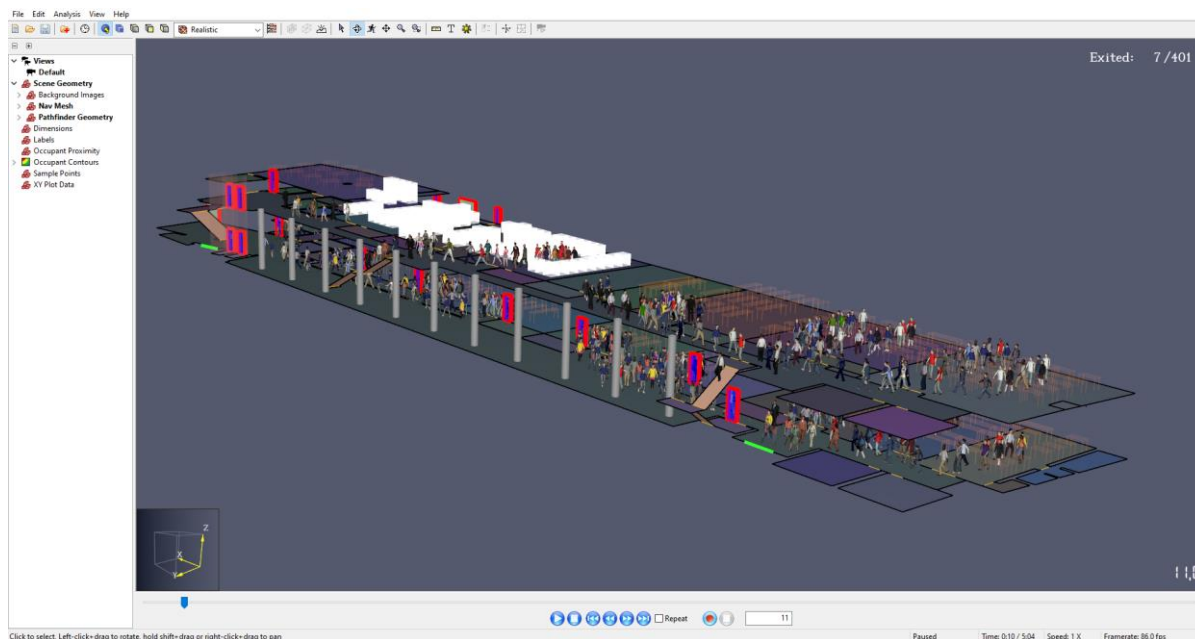


Figura 30 – Visualização 3D dos resultados da simulação

3.2.2. VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE APOIO À DECISÃO DESENVOLVIDO

De forma a validar o modelo de simulação elaborado, foi realizada uma comparação do tempo de uma evacuação real e o tempo de evacuação obtido através de simulação no *software* Pathfinder.

Para concluir que o modelo desenvolvido é válido ou não, foram feitas 15 medições, cronometradas, do tempo de deslocação de um único ocupante de diversas localizações do edifício até diferentes saídas. Em todas as medições, o ocupante iniciou o movimento após o início da cronometragem, sendo que, procurou estabelecer uma velocidade constante em todas as mensurações.

Nesta análise, foram utilizados todos os meios de ligação entre pisos, sendo que numa observação, quando foi pressionado o botão de chamada do elevador, este, encontrava-se no piso 1 e noutra medição, este, encontrava-se no piso 2.

Os resultados desta comparação podem ser encontrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Comparação dos tempos de evacuação de uma simulação real relativamente a uma simulação computacional

<i>Trajeto do ocupante</i>	Tempo de evacuação em segundos da simulação real	Tempo de evacuação em segundos da simulação computacional	Erro percentual
<i>Sala 01 – Porta Secundária</i>	21,2 s	21,4 s	0,94%
<i>Sala 02 – Porta Secundária</i>	14,0 s	14,6 s	4,29%
<i>Sala 07 – Porta Principal</i>	26,4 s	26,2 s	0,76%
<i>Sala 08 – Porta Principal</i>	23,9 s	25,5 s	6,69%
<i>Sala 09 – Porta Principal</i>	18,0 s	19,4 s	7,78%
<i>Sala 10 – Porta Principal</i>	18,2 s	19,0 s	4,40%
<i>Sala 10 – Porta Bar</i>	17,3 s	17,9 s	3,47%
<i>Sala 11- Porta Secundária</i>	40,3 s	38,1 s	5,46%
<i>Sala 12 – Porta Secundária</i>	30,6 s	28,4 s	7,19%
<i>Sala 13- Porta Secundária</i>	35,0 s	34,6 s	1,14%
<i>Sala de cozinhas individuais – Porta Principal</i>	44,1 s	41,9 s	4,99%
<i>Sala de cozinhas individuais (dif. Localização) – Porta Principal</i>	47,0 s	44,9 s	4,47%
<i>Restaurante – Porta Principal (s/ elevadores)</i>	30,3 s	29,5 s	2,64%
<i>Restaurante – Porta Principal (elevador piso 2)</i>	43,6 s	46,0 s	5,50%
<i>Restaurante – Porta Principal (elevador piso 1)</i>	52,7 s	52,3 s	0,76%

Para melhor compreensão dos resultados anteriores, é apresentada a Figura 31 (pág. 46) e a Figura 32 (pág. 47) relativas à planta do piso 1 e 2, respetivamente, onde é possível observar as diferentes divisões que o ocupante percorreu no processo de validação de dados.

Analisando a Tabela 3, é possível concluir não há uma variação significativa dos tempos cronometrados relativamente aos tempos resultantes da simulação computacional, pois o erro percentual médio é de 4,03%, sendo assim, o sistema desenvolvido demonstra ser válido.

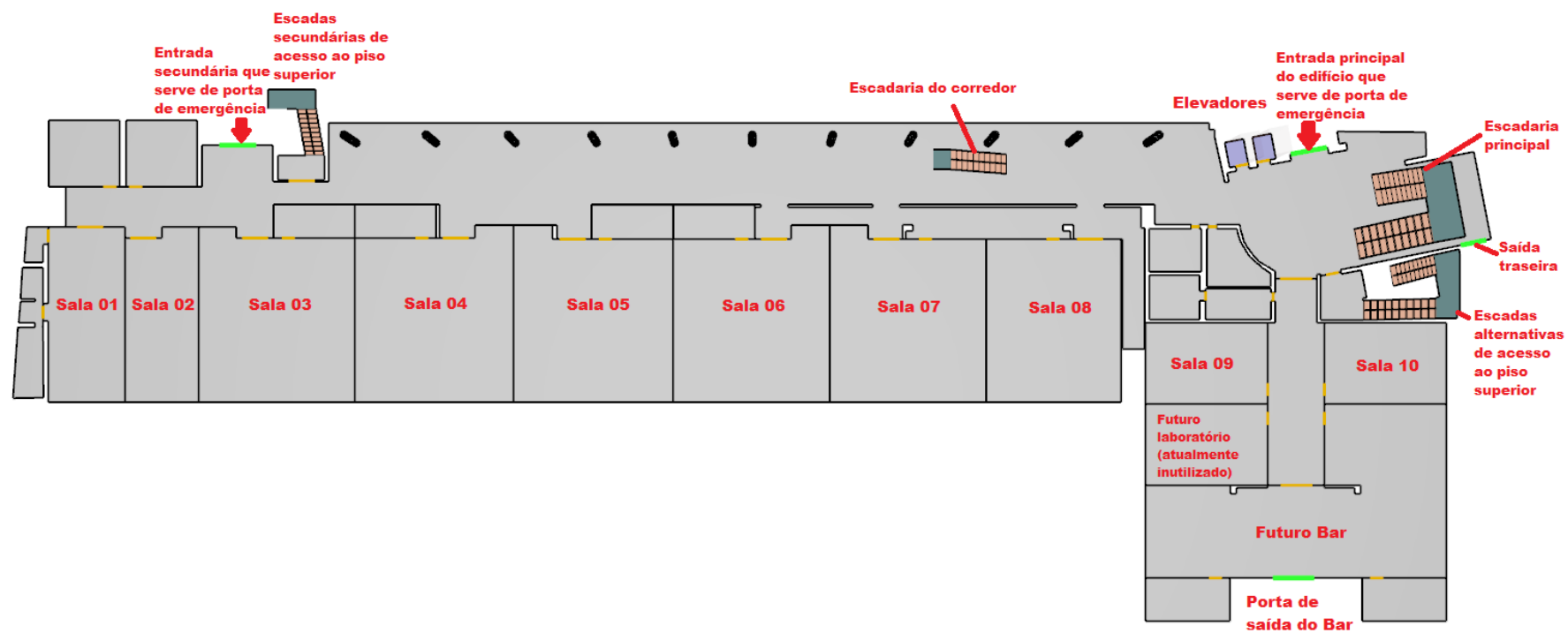


Figura 31 – Representação legendada da planta do Piso 1

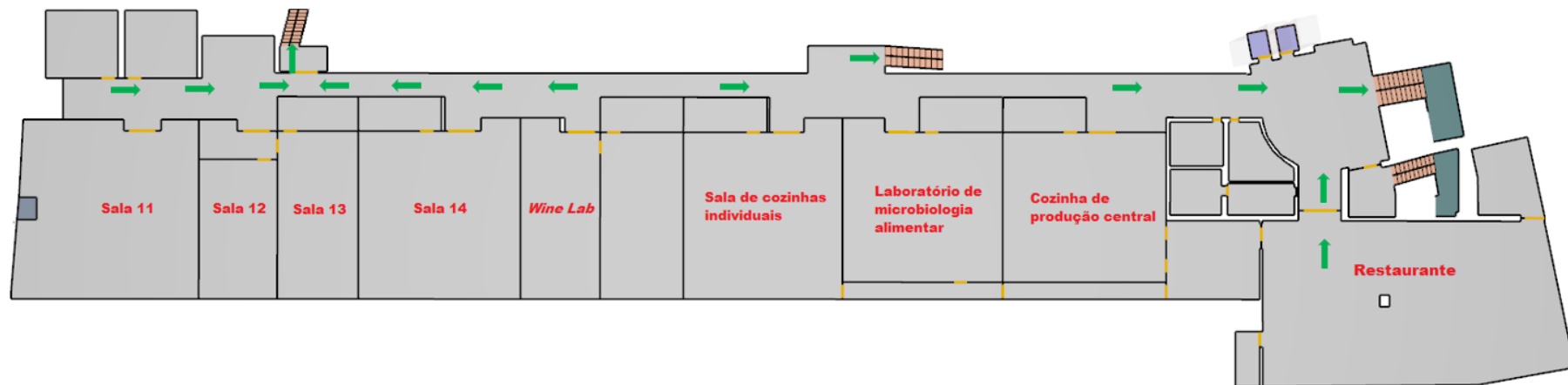


Figura 32 – Representação legendada da planta do Piso 2

3.2.3. ANÁLISE DAS DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE EVACUAÇÃO

Neste projeto, foi conduzido um estudo com o objetivo de analisar e melhorar o processo de evacuação do Bloco D da Escola Superior de Hotelaria e Turismo. Neste estudo, foram utilizadas simulações computacionais para testar as diferentes estratégias de evacuação do edifício na sua capacidade máxima (pela arquitetura atual), considerando um total de 652 ocupantes do edifício. Na Tabela 4, podemos observar como foram distribuídos os ocupantes pelas diferentes salas.

Tabela 4 – Distribuição dos ocupantes pelas diversas divisões

Sala	Alunos	Professores	Staff/Alunos	Visitantes
1	30	1	0	0
2	30	1	0	0
3	45	1	0	0
4	45	1	0	0
5	45	1	0	0
6	45	1	0	0
7	45	1	0	0
8	36	1	0	0
9	20	1	0	0
10	20	1	0	0
11	33	1	0	0
12	25	1	0	0
13	30	1	0	0
14	45	1	0	0
Wine Lab	10	1	0	0
Sala cozinhas individuais	20	1	0	0
Laboratório microbiologia alimentar	10	1	0	0
Cozinha prod. Central	0	1	10	0
Restaurante	0	0	6	84

Nas diferentes estratégias analisadas, foram implementadas diversas variáveis, tais como o número de saídas, se os ocupantes seguem uma evacuação orientada ou não e se o funcionamento dos elevadores acelera o processo de evacuação.

Na maioria das simulações realizadas nas diferentes estratégias, os ocupantes foram instruídos a iniciar de forma imediata a evacuação. Contudo, é importante considerar o tempo de pré-movimentação visto que durante um processo de evacuação, as pessoas não iniciam o movimento no momento após o acionamento do alarme. Tal como descrito no subcapítulo 2.3.3, em

universidades, onde os ocupantes estão acordados e familiarizados com o edifício, com o sistema de alarme e com o procedimento de evacuação e as orientações são fornecidas por meio de mensagens de voz pré-gravadas e/ou sinalização de evacuação, o tempo médio de pré-movimentação é de aproximadamente 180 segundos. Tendo em conta que na zona do restaurante, os ocupantes são maioritariamente visitantes que não possuem qualquer familiaridade com o edifício, foi atribuído um líder pertencente ao staff, que, encaminhará os visitantes em todo o processo de evacuação. Como tal, o tempo de pré-movimentação considerado foi atribuído de forma igualitária para toda a escola.

Em todas as simulações, os ocupantes foram parametrizados com uma velocidade de movimentação de 1,2 m/s.

3.2.4. ESTRATÉGIA 1 – EDIFÍCIO COM 1 SAÍDA DISPONÍVEL, SEM ORIENTAÇÃO

Na estratégia 1, a evacuação dos 652 ocupantes é realizada por uma porta disponível das quatro portas de saída da faculdade. Nesta abordagem, foi atribuído o comportamento “Go to Any Exit” a todos os ocupantes do edifício. Com este comportamento designado, os ocupantes realizam a evacuação sem qualquer tipo de orientação relativamente aos locais para onde se devem dirigir, efetuando assim o caminho mais curto em direção a uma saída.

Nesta abordagem, foram simulados 4 cenários (um para cada porta) e os resultados das simulações encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 – Tempos de evacuação da estratégia 1

Cenários	Resultados da simulação – S/ elevadores (Tempo de movimentação)	Tempo total de evacuação – S/ elevadores (adicionando o Tempo de pré-evacuação) (CFPA, 2009)	Resultados da simulação – C/ elevadores (Tempo de movimentação)	Tempo total de evacuação – C/ elevadores (adicionando o Tempo de pré-evacuação) (CFPA, 2009)
1. Porta Principal disponível	220,6 s	400,6 s	Não foram utilizados	400,6 s
2. Porta Secundária disponível	349,2 s	529,2 s	Não foram utilizados	529,3 s
3. Porta Traseira (junto às escadas principais) disponível	301,3 s	481,3 s	Não foram utilizados	481,3 s
4. Porta Bar disponível	290,5 s	470,5 s	Não foram utilizados	470,5 s

Através da Tabela 5 é possível observar que, numa abordagem em que os ocupantes se deslocam para a saída mais próxima sem orientação tendo apenas uma porta de saída disponível, o cenário que apresenta o menor tempo total de evacuação é o primeiro cenário, no qual as pessoas se

dirigem para a porta principal. Também é possível concluir que a existência de elevadores não teve qualquer efeito, porque nenhuma pessoa utilizou os elevadores para se deslocar para a saída.

A Figura 33 apresenta a evolução do processo de evacuação dos ocupantes para o primeiro cenário, que obteve o melhor resultado.

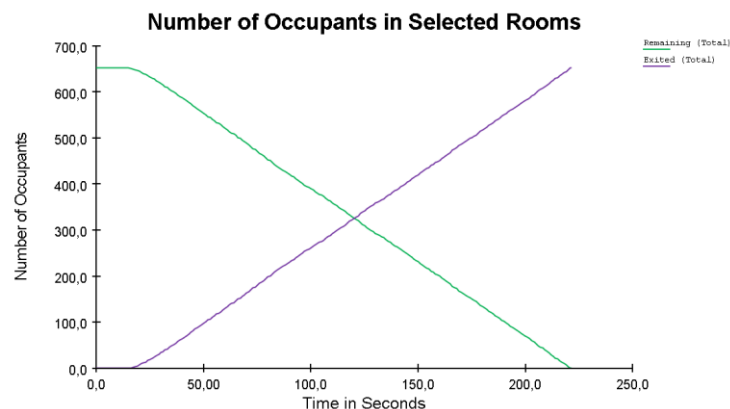


Figura 33 – Gráfico da evolução da evacuação dos ocupantes sem orientação com a porta principal disponível (1º cenário)

Analisando a Figura 33, verifica-se que o gráfico do número de pessoas que abandonou o edifício em função do tempo tem uma tendência linear. Neste cenário verificou-se um estrangulamento do fluxo de pessoas no piso 1, mais precisamente na zona do corredor principal junto aos elevadores, tal como é possível observar na Figura 34.



Figura 34 – Estrangulamento do fluxo de pessoas no corredor principal junto aos elevadores.

De seguida são apresentados os gráficos da evolução da evacuação para o cenário 2, 3 e 4 nas Figuras Figura 35, Figura 36 e Figura 37, respetivamente.

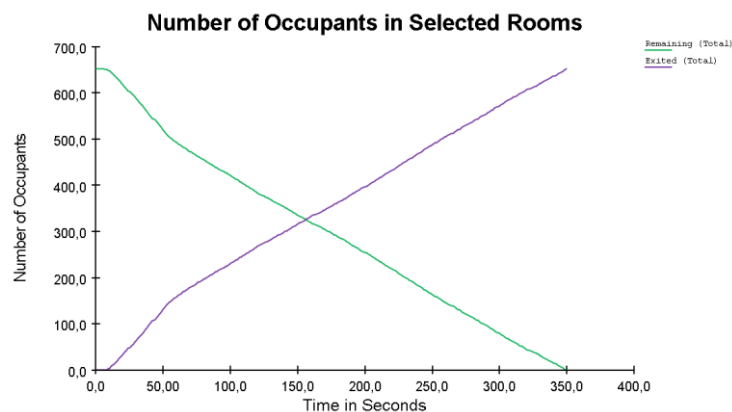


Figura 35 – Gráfico da evolução da evacuação dos ocupantes sem orientação com a porta secundária disponível (2º cenário)

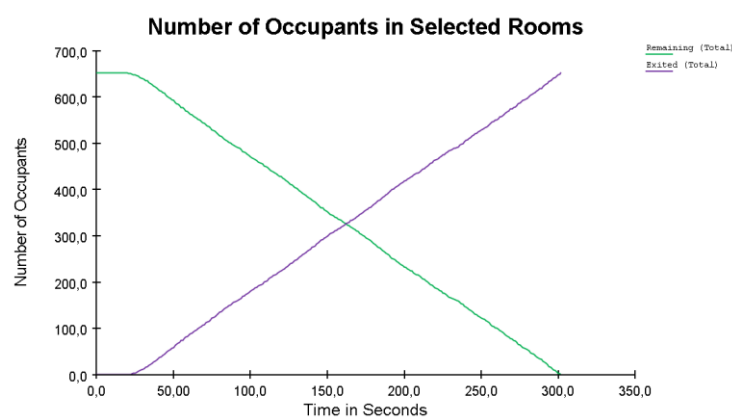


Figura 36 – Gráfico da evolução da evacuação dos ocupantes sem orientação com a porta de emergência atrás das escadas principais disponível (3º cenário)

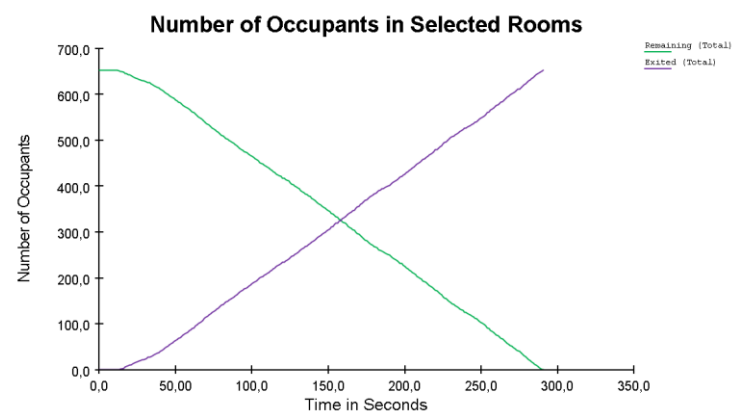


Figura 37 – Gráfico da evolução da evacuação dos ocupantes sem orientação com a porta do futuro bar disponível (4º cenário)

Observando os gráficos anteriores, podemos concluir que 50% dos ocupantes abandonaram o edifício após os 150 segundos, valor superior aos 118 segundos do 1º cenário.

Destes 3 cenários, podemos constatar que o que demonstra o pior resultado é o 2º cenário. Este facto explica-se pelo facto de o corredor das escadas secundárias ser demasiado estreito para um fluxo elevado de pessoas e por ser o ponto de saída das pessoas que utilizam as escadas secundárias que ligam os dois pisos, tal como podemos observar na Figura 38 e na Figura 39.



Figura 38 – Vista superior do corredor onde existe um *bottleneck* (2º cenário)



Figura 39 – Vista 3D do *bottleneck* (2º cenário)

No caso do 3º e 4º cenário, verificou-se uma concentração de pessoas no átrio principal, devido ao facto de existir um ponto em que, as pessoas que descem as escadas que vão ter em direção ao átrio acabam por coincidir com os ocupantes do piso 1. Este ponto acaba por ser o principal *bottleneck* destes 2 cenários, tal como podemos ver na Figura 40 e Figura 41. O tempo de evacuação nestes dois cenários é menor do que no 2º cenário, porque o átrio principal é um espaço mais amplo do que o corredor junto da saída secundária, como tal, apesar de existir um cruzar de massas, não existe nenhum fator de redução de fluxo como no cenário 2. O 4º cenário demonstra um tempo de evacuação inferior ao 3º cenário em aproximadamente 11 segundos, pelo facto de a porta de saída do futuro bar, ser mais larga que a porta traseira, sendo que a primeira tem 260 cm de largura e a outra tem 163 cm.



Figura 40 – Vista 3D do *bottleneck* no átrio principal (3º cenário)



Figura 41 – Vista 3D do *bottleneck* no átrio principal (4º cenário)

3.2.5. ESTRATÉGIA 2 – EDIFÍCIO COM 2 SAÍDAS DISPONÍVEIS, SEM ORIENTAÇÃO

Na estratégia 2, a evacuação das pessoas da Escola Superior de Hotelaria e Turismo é efetuada com duas das quatro portas disponíveis. Tal como na estratégia 1, a evacuação dos ocupantes é realizada sem qualquer tipo de orientação, como tal todos eles têm o comportamento “*Go to Any Exit*” para efetuarem o caminho mais curto para a sua saída mais próxima.

Nesta estratégia, foram testadas as 6 combinações possíveis de saídas, e os resultados encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6 - Tempos de evacuação da estratégia 2

Cenários	Resultados da simulação – S/ elevadores (Tempo de movimentação)	Tempo total de evacuação – S/ elevadores (adicionando o Tempo de pré-evacuação) (CFPA, 2009)	Resultados da simulação – C/ elevadores (Tempo de movimentação)	Tempo total de evacuação – C/ elevadores (adicionando o Tempo de pré-evacuação) (CFPA, 2009)
1. Porta Principal e Porta Secundária disponíveis	216,1 s	396,1 s	Não foram utilizados	396,1 s
2. Porta Principal e Porta Traseira disponíveis	196,0 s	376,0 s	198,1 s	378,1 s
3. Porta Principal e Porta Bar disponíveis	209,8 s	389,8 s	Não foram utilizados	389,8 s
4. Porta Secundária e Porta Bar disponíveis	249,8 s	429,8 s	Não foram utilizados	429,8 s
5. Porta Secundária e Porta Traseira disponíveis	225,3 s	405,3 s	Não foram utilizados	405,3 s
6. Porta Traseira e Porta Bar disponíveis	204,4 s	384,4 s	Não foram utilizados	384,4 s

Na Tabela 6, é possível verificar que numa abordagem com duas portas disponíveis e os ocupantes não têm orientação para a saída a que se devem dirigir, o cenário que apresenta o melhor resultado é o 2, com a porta principal e a porta traseira disponível, enquanto o pior cenário é aquele em que as saídas disponíveis são a porta secundária e a porta do futuro bar.

Através da Tabela 6, constata-se que para todos os cenários com exceção do cenário 2, o facto de existirem elevadores no edifício não tem qualquer influencia no tempo total de evacuação, visto que, quando os ocupantes não têm orientação em relação ao local para onde se devem dirigir, os mesmos optam por não utilizar os elevadores. Contudo, no cenário 2, os elevadores foram utilizados numa fase final do processo de evacuação, tendo resultado num aumento de 2,1 segundos no tempo de evacuação, que apesar de ser um aumento diminuto, é explicado na pág. 55. Seguidamente são apresentados nas Figuras Figura 42 e Figura 43 os gráficos da evolução da evacuação do cenário 2, numa abordagem com e sem elevadores respetivamente e a Figura 44 com o gráfico da utilização dos elevadores neste mesmo cenário.

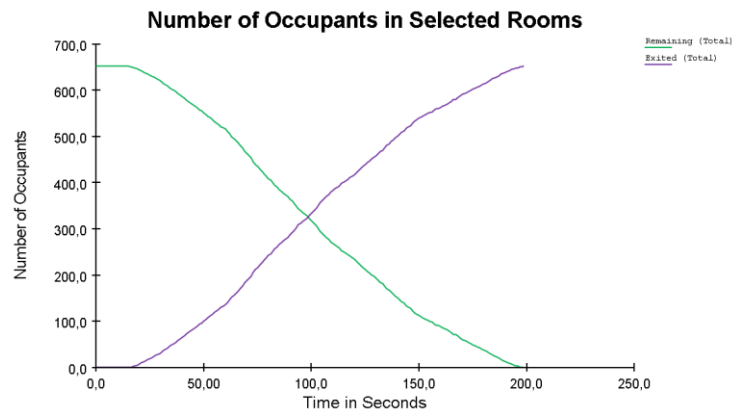


Figura 42 – Gráfico da evolução da evacuação dos ocupantes do cenário 2 com elevadores

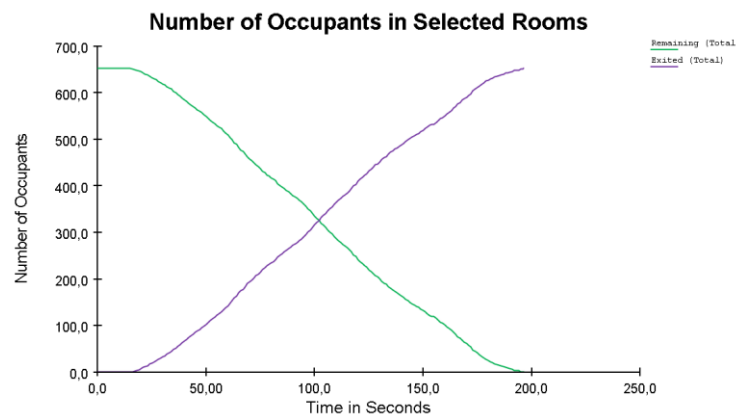


Figura 43 – Gráfico da evolução da evacuação dos ocupantes do cenário 2 sem elevadores

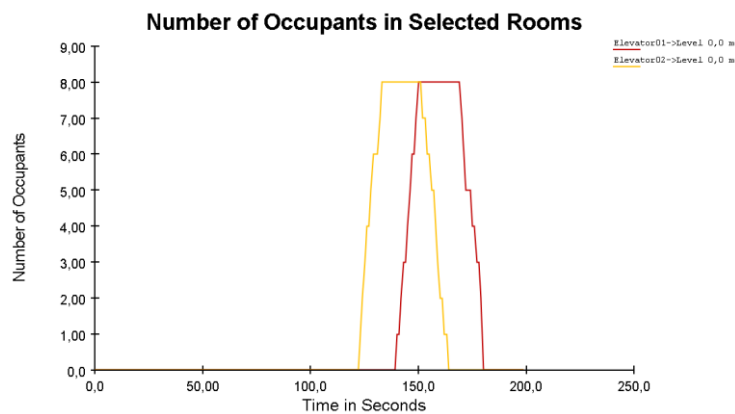


Figura 44 – Gráfico com a ocupação dos elevadores em função do tempo no cenário 2

Pela análise da Figura 42 e da Figura 43 é quase impercetível denotar alguma diferença, porém pela Figura 44 é possível constatar que os elevadores são utilizados numa fase final do processo de evacuação. O facto destes ocupantes utilizarem os elevadores, provoca uma convergência com as pessoas que se deslocam do corredor principal para a porta principal, na saída dos elevadores. Numa estratégia sem elevadores, esse retardamento acaba por não existir, porque esses mesmos ocupantes descem pelas escadas principais e vão de seguida para o sentido inverso, dirigindo-se assim para a porta traseira.

Este cenário também demonstra ser o melhor cenário, pelo facto de que apesar de serem duas saídas muito próximas uma da outra, elas encontram-se numa zona ampla e central do edifício, na qual as pessoas que descem pelas escadas principais têm a tendência de se dirigir para a saída traseira se a porta principal tiver uma percentagem de utilização elevada, logo não existe nenhum cruzamento dos grupos de movimentação.

Nesta estratégia, o pior cenário foi o 4 com a porta secundária e com a porta do futuro bar disponíveis. De seguida, é apresentada a Figura 45 com o gráfico do abandono dos ocupantes em função do tempo para este mesmo cenário e é exibida na Figura 46 o gráfico que demonstra a utilização das portas de saída disponíveis em função do tempo.

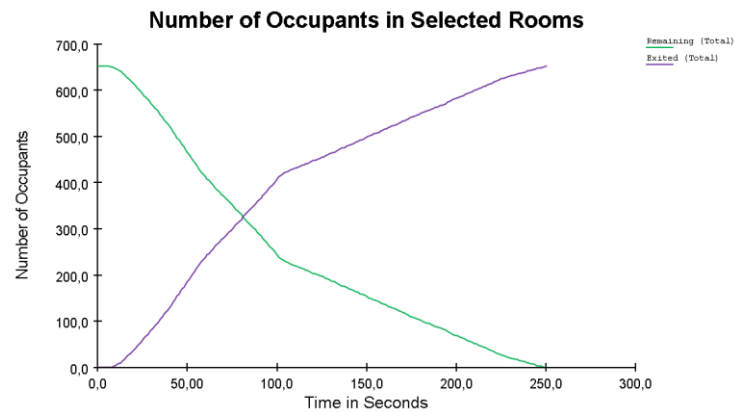


Figura 45 – Gráfico da evolução da evacuação dos ocupantes do cenário 4

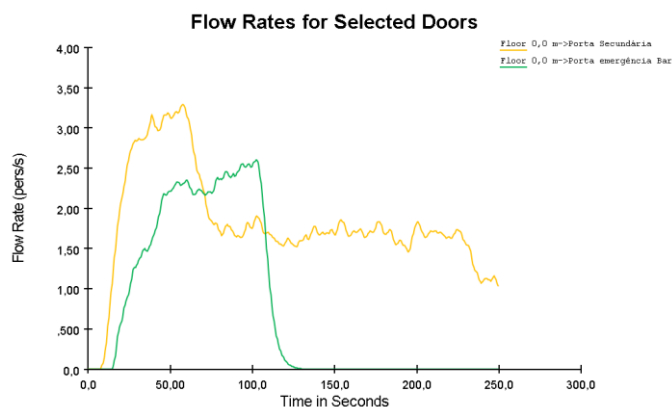


Figura 46 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 4

Através do gráfico apresentado na Figura 45 é possível observar que a evacuação da primeira metade dos ocupantes é realizada nos primeiros 80 segundos, mas são necessários mais 170 segundos para que o processo de evacuação seja finalizado. Pela Figura 46, infere-se que a última utilização da porta do bar por parte de um ocupante ocorre aos 130 segundos e que a partir desse momento, a única porta a ser utilizada é a porta secundária. Isto acontece porque a maioria dos ocupantes do edifício prefere utilizar a porta secundária por ser a porta mais próxima da sua localização inicial. O processo de evacuação é bastante retardado nesta saída, porque, tal como se concluiu na estratégia 1, a saída secundária localiza-se próximo de um corredor estreito que contém a saída das escadas secundárias, sendo o maior *bottleneck* do edifício.

Os gráficos apresentados nas Figuras Figura 47 a Figura 54, descrevem consoante o cenário simulado, o progresso da evacuação ao longo do tempo e o fluxo de ocupantes em cada uma das portas de saída.

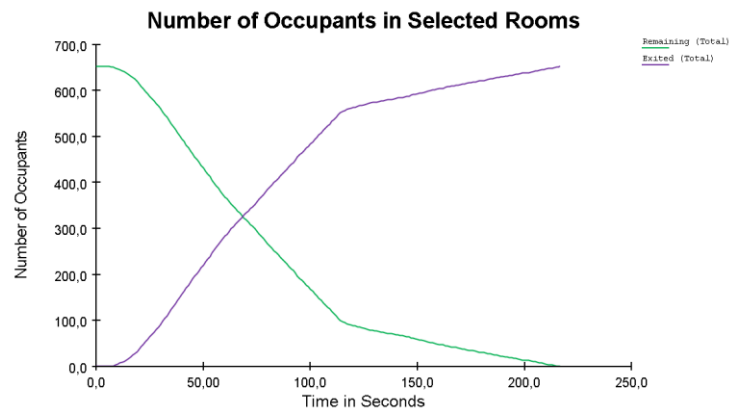


Figura 47 – Gráfico da evolução da evacuação dos ocupantes do cenário 1

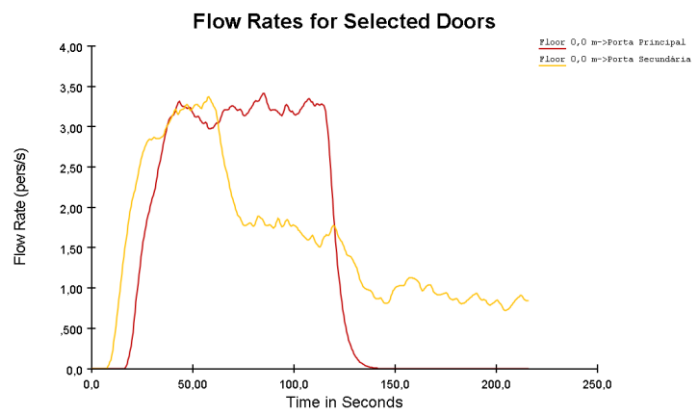


Figura 48 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 1

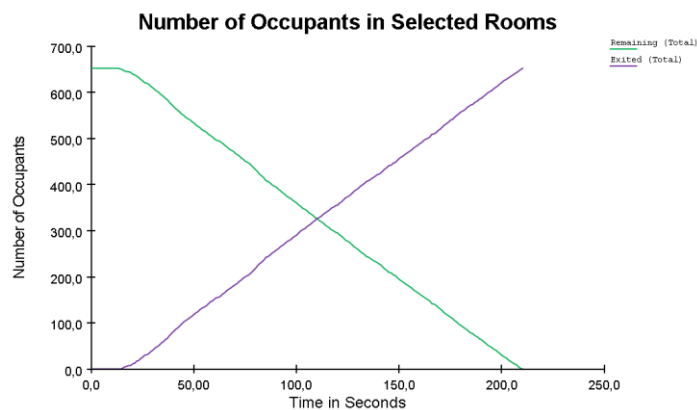


Figura 49 – Gráfico da evolução da evacuação dos ocupantes do cenário 3

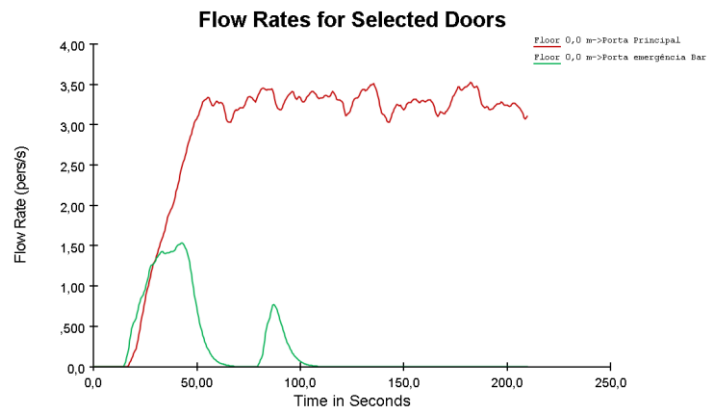


Figura 50 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 3

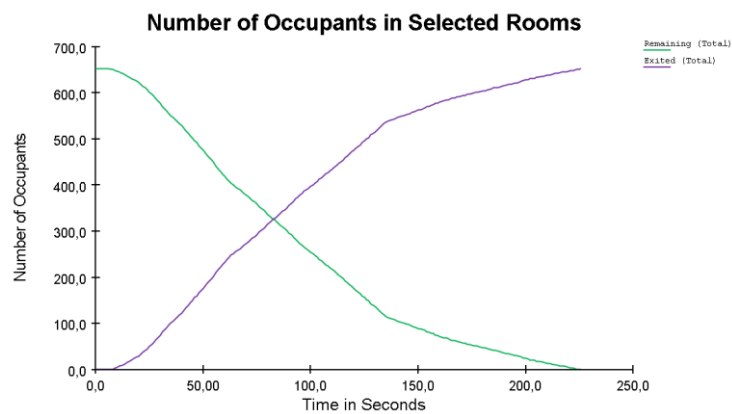


Figura 51 – Gráfico da evolução da evacuação dos ocupantes do cenário 5

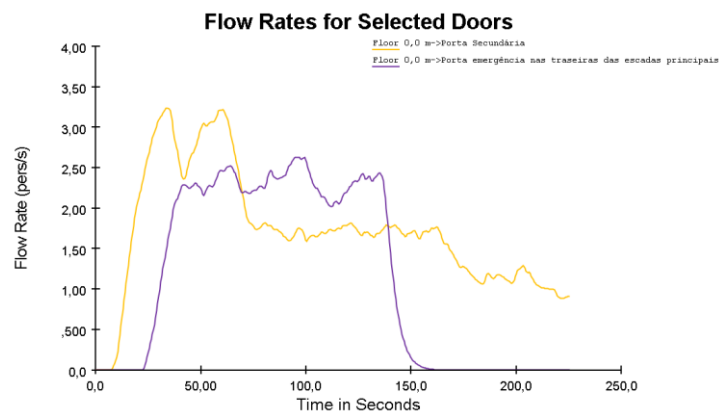


Figura 52 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 5

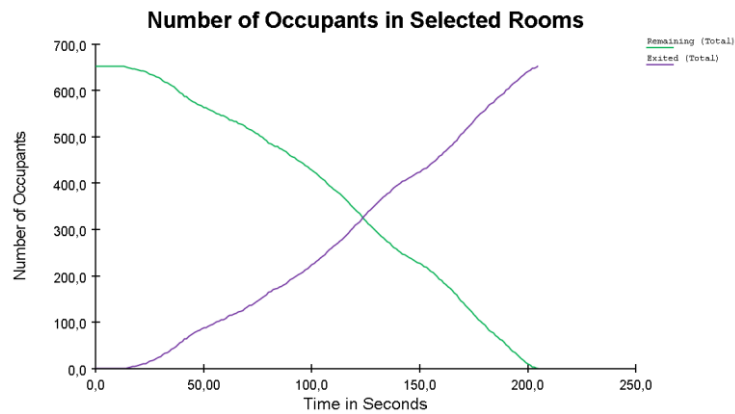


Figura 53 – Gráfico da evolução da evacuação dos ocupantes do cenário 6

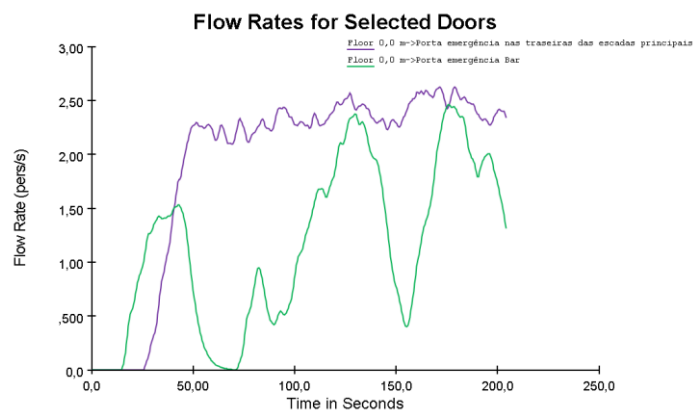


Figura 54 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 6

No cenário 1, no qual as saídas disponíveis são a porta principal e a porta secundária, ocorre uma debandada distribuída para cada lado do edifício, ou seja, o grupo localizado no lado esquerdo da escola, composto pelas pessoas da sala 1 a 4 do piso 1 e os ocupantes da sala 11 a 14 conjuntamente com o *Wine Lab*, dirigem-se para o lado esquerdo do edifício saindo pela porta secundária enquanto que o grupo localizado no lado direito do edifício desloca-se para a porta principal. Tal como se vê no gráfico da Figura 48, a evacuação na porta principal termina primeiro do que na porta secundária por causa do *bottleneck* junto a essa porta, tal como já foi referido anteriormente.

No gráfico da Figura 50, verifica-se que no cenário 3, a porta de saída do bar tem uma taxa de utilização bastante inferior à da porta principal. Num primeiro momento, a primeira saída é apenas utilizada pelos ocupantes da sala 9 e da sala 10 que se deslocam para a sua saída mais próxima. Posteriormente, esta porta é utilizada por uma fração das pessoas do restaurante, que para evitar o tempo de espera de fila junto da porta principal, invertem a evacuação em direção à saída da porta do futuro bar.

Na Figura 51, podemos observar que as linhas do gráfico relativo ao cenário 5 têm uma tendência semelhante às linhas do gráfico da Figura 47 do cenário 1. Tal acontece, porque a porta traseira às escadas principais encontra-se localizada numa zona próxima à saída principal que se apresentava disponível no primeiro cenário. Apesar da linha do gráfico de fluxo de pessoas que atravessa a porta traseira ser semelhante à que atravessa a porta principal no 1º cenário, o seu pico é menor devido ao facto da porta possuir menor largura do que a principal.

Pela análise do gráfico da Figura 54, é possível constatar que no cenário 6, a porta traseira tem uma maior taxa de utilização do que a porta do bar por motivos de localização, visto que os únicos ocupantes que se dirigem para a porta do bar por motivos de proximidade são as pessoas da sala 9 e 10. Os outros ocupantes que se deslocam para esta saída, fazem-no, para escapar ao aglomerado de pessoas que se forma no átrio principal junto da porta traseira. Neste cenário, ambas as saídas são utilizadas até ao final do processo de evacuação.

3.2.6. ESTRATÉGIA 3 – EDIFÍCIO COM 3 SAÍDAS DISPONÍVEIS, SEM ORIENTAÇÃO

Nesta terceira estratégia, a faculdade é evacuada utilizando três das quatro saídas disponíveis. Tal como nas estratégias anteriores, os ocupantes são evacuados sem qualquer orientação, por conseguinte foi atribuído o comportamento “Go to Any Exit” aos 652 ocupantes do edifício.

Foram testadas as 4 combinações possíveis de saídas e os resultados apresentam-se na Tabela 7.

Tabela 7 – Tempos de evacuação da estratégia 3

Cenários	Resultados da simulação – S/ elevadores (Tempo de movimentação)	Tempo total de evacuação – S/ elevadores (adicionando o Tempo de pré-evacuação) (CFPA, 2009)	Resultados da simulação – C/ elevadores (Tempo de movimentação)	Tempo total de evacuação – C/ elevadores (adicionando o Tempo de pré-evacuação) (CFPA, 2009)
1. Porta Principal, Porta Secundária e Porta do Bar disponíveis	191,2 s	371,2 s	Não foram utilizados	371,2 s
2. Porta Principal, Porta Secundária e Porta Traseira disponíveis	194,4 s	374,4 s	Não foram utilizados	374,4 s
3. Porta Principal, Porta do Bar e Porta Traseira disponíveis	182,7 s	362,7 s	Não foram utilizados	362,7 s
4. Porta Secundária, Porta do Bar e Porta Traseira disponíveis	208,4 s	388,4 s	Não foram utilizados	388,4 s

Pela Tabela 7, evidencia-se que o cenário com o menor tempo de evacuação é o cenário 3, com a porta principal, a porta do bar e a porta traseira disponíveis, enquanto que o pior cenário é o 4 com a porta secundária, a porta do bar e a porta traseira disponíveis. Uma vez mais, os elevadores não foram utilizados por parte dos ocupantes.

De seguida, são apresentados os gráficos do progresso da evacuação em função do tempo e o gráfico do fluxo de ocupantes em cada uma das portas de saída do cenário 3 nas Figuras Figura 55 e Figura 56, respetivamente.

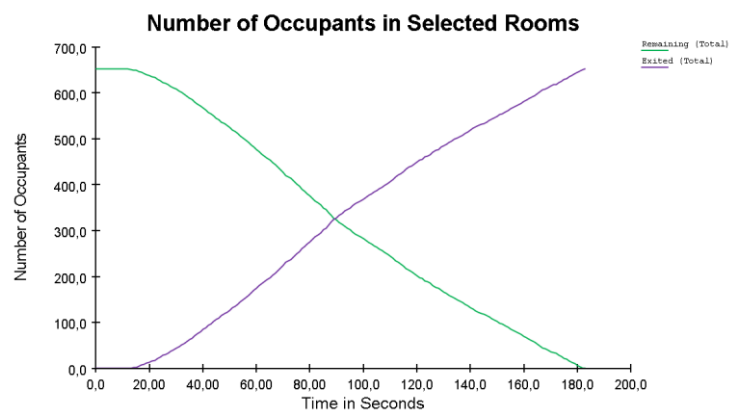


Figura 55 – Gráfico da evolução da evacuação dos ocupantes do cenário 3

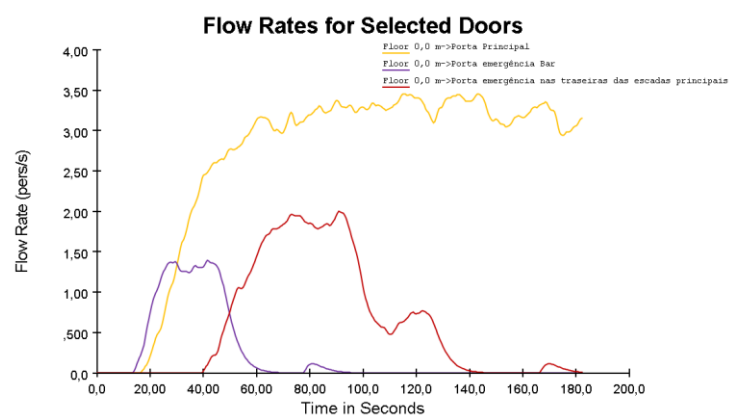


Figura 56 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 3

A partir dos gráficos anteriores, é possível concluir que a porta principal é a porta com mais utilização pelos ocupantes e que após metade do tempo decorrido, 50% das pessoas já haviam sido evacuadas. Neste cenário, não existiu nenhum constrangimento no corredor estreito junto à porta secundária, porque a maioria dos ocupantes do piso 2 que costuma utilizar as escadas secundárias, deu preferência às escadas do corredor. Tal como noutros cenários de estratégias anteriores, a porta do bar foi utilizada pelas pessoas que se encontravam nas salas (9 e 10) que se encontram na sua proximidade e as pessoas do restaurante e da cozinha de produção central, que após descerem as escadas principais, foram em direção à porta traseira para evitar a elevada concentração de pessoas que tentava sair pela porta principal.

Tal como referido anteriormente, o cenário com o maior tempo de evacuação foi o cenário 4 com a porta secundária, porta do bar e a porta traseira disponíveis e com os ocupantes sem qualquer tipo de orientação. As Figuras Figura 57 e Figura 58, referentes à simulação do cenário 4, demonstram, respetivamente, a quantidade de ocupantes que saíram do edifício ao longo do tempo e o fluxo de ocupantes em cada uma das portas de saída.

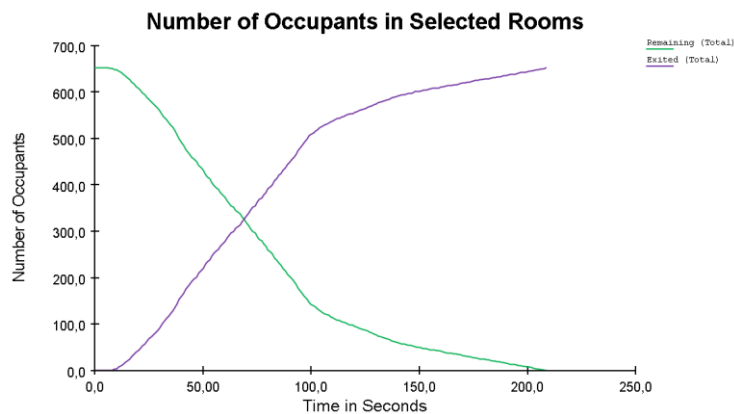


Figura 57 – Gráfico da evolução da evacuação dos ocupantes do cenário 4

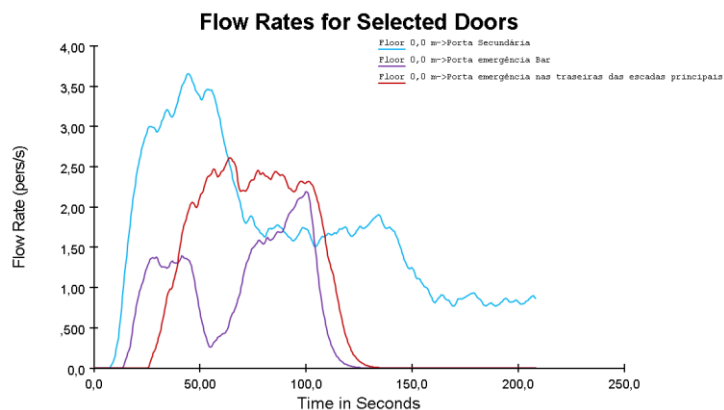


Figura 58 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 4

Pelos gráficos apresentados nas Figuras Figura 57 e Figura 58, verifica-se no cenário 4 apresenta inicialmente uma evacuação elevada de ocupantes, tornando-se praticamente constante até ao final. Igualmente se observa que a porta secundária tem uma utilização superior do que a as outras portas, tal ocorre, porque os ocupantes situados no lado esquerdo do edifício realizam a evacuação nessa mesma porta, enquanto a evacuação do lado direito é distribuída por duas saídas, como tal a evacuação na porta do bar e na porta traseira, termina primeiro do que na porta secundária.

Os gráficos apresentados nas Figuras Figura 59 à Figura 62, representam o número de ocupantes que evacuam o edifício em função do tempo e o fluxo de pessoas em cada uma das portas, para o cenário 1 e 2.

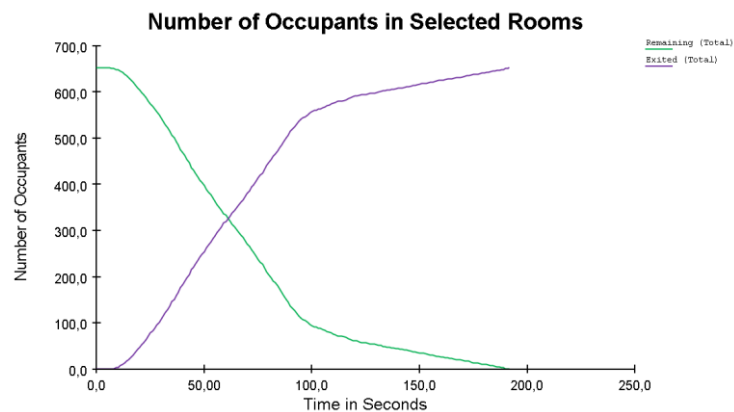


Figura 59 – Gráfico da evolução da evacuação dos ocupantes do cenário 1

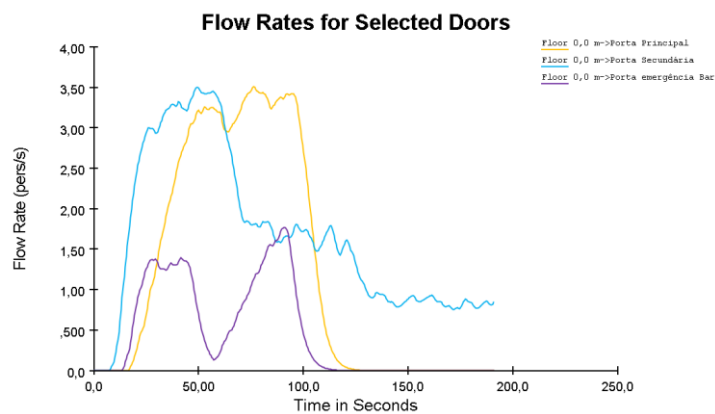


Figura 60 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 1

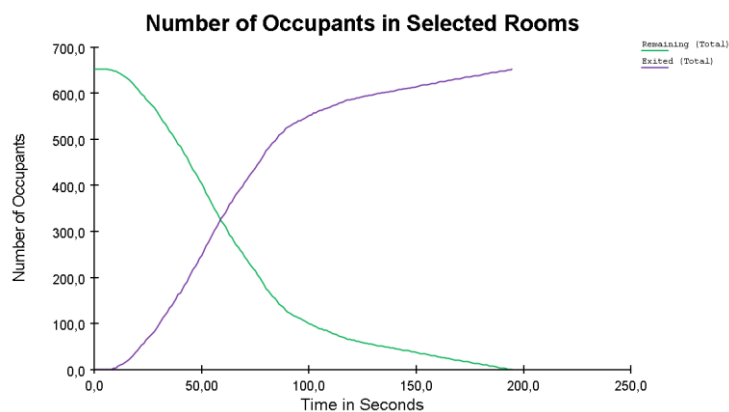


Figura 61 – Gráfico da evolução da evacuação dos ocupantes do cenário 2

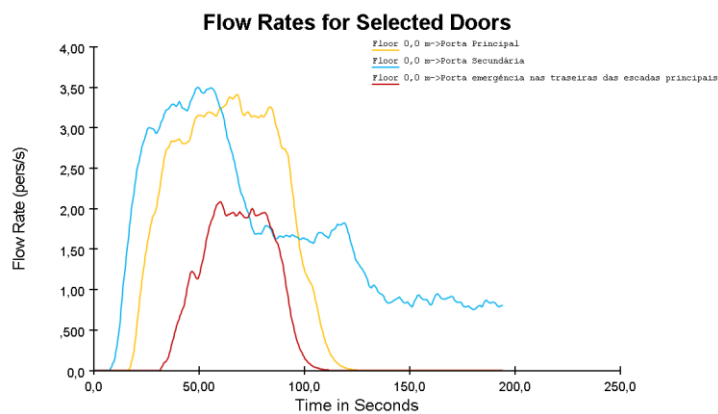


Figura 62 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 2

Pelos gráficos anteriormente apresentados, conclui-se que a evacuação na porta secundária tem um término posterior à evacuação nas outras portas, porque tal como explicado anteriormente no cenário 4 da estratégia 3, as pessoas situadas no lado esquerdo do edifício dirigem-se para a porta secundária e, as pessoas do lado direito do edifício movimentam-se para as duas saídas no lado direito da escola. Em todos os cenários desta estratégia com 3 portas disponíveis, sendo que uma delas é a porta principal, verificou-se que no momento em que a evacuação terminou nas outras portas, ainda existia uma concentração de pessoas no piso 2 em direção às escadas secundárias, tal como se pode observar na Figura 63.



Figura 63 – Concentração de pessoas no corredor das escadas secundárias (Piso 2)

3.2.7. ESTRATÉGIA 4 – EDIFÍCIO COM 4 SAÍDAS DISPONÍVEIS, SEM ORIENTAÇÃO

Na estratégia 4, foi realizada a simulação da evacuação dos ocupantes da Escola Superior de Hotelaria e Turismo pelas 4 portas disponíveis. Tal como nas estratégias anteriores, a evacuação dos ocupantes é realizada sem nenhuma orientação relativamente ao local para onde as pessoas se devem dirigir, tendo sido atribuído o comportamento “*Go to Any Exit*” aos 652 ocupantes da escola.

Na Tabela 8, encontram-se os resultados desta estratégia e, de seguida, são apresentados os gráficos do progresso da evacuação em função do tempo e o gráfico do fluxo de ocupantes nas portas de saída do edifício, nas Figuras Figura 64 e Figura 65, respetivamente.

Tabela 8 – Tempos de evacuação da estratégia 4

Cenário	Resultados da simulação – S/ elevadores (Tempo de movimentação)	Tempo total de evacuação – S/ elevadores (adicionando o Tempo de pré-evacuação) (CFPA, 2009)	Resultados da simulação – C/ elevadores (Tempo de movimentação)	Tempo total de evacuação – C/ elevadores (adicionando o Tempo de pré-evacuação) (CFPA, 2009)
Todas as portas disponíveis	192,7 s	372,7 s	Não foram utilizados	372,7 s

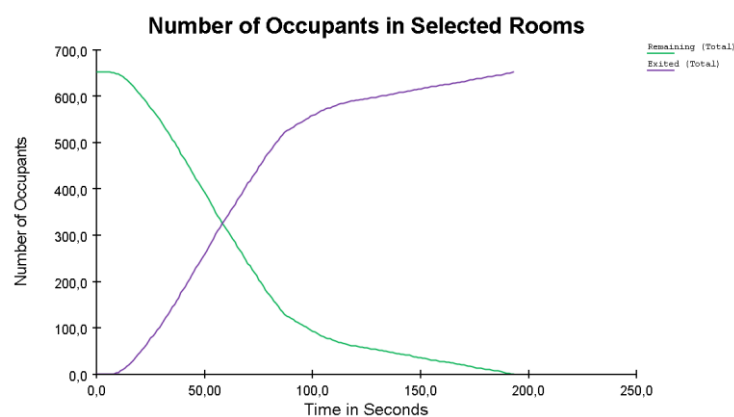


Figura 64 – Gráfico da evolução da evacuação dos ocupantes da estratégia 4

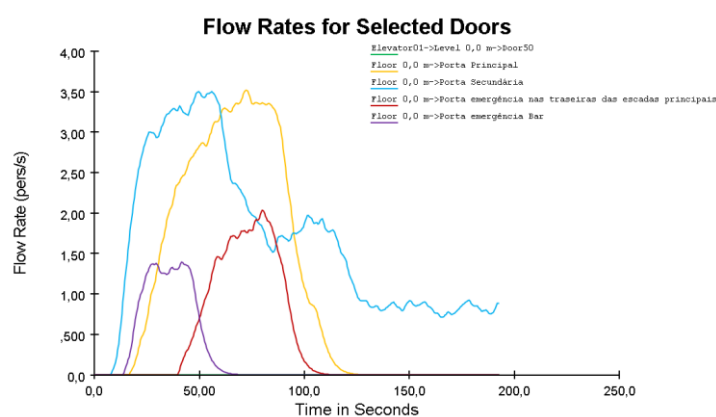


Figura 65 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída da estratégia 4

Com os gráficos apresentados nas Figuras Figura 64 e Figura 65, é possível concluir são precisos aproximadamente 60 segundos para evacuar metade dos ocupantes da escola, enquanto que para evacuar a outra metade, porém foram precisos mais 132,7 segundos até o processo de evacuação ficar concluído.

Também se conclui que, a porta principal e a porta secundária são as portas mais utilizadas, contudo, nesta estratégia, com todas as portas disponíveis, a evacuação da porta secundária foi a que demorou mais tempo, porque tal como na estratégia 3, nos cenários em que a porta secundária estava disponível, as pessoas situadas no lado esquerdo do edifício dirigem-se para o lado esquerdo do edifício e as pessoas do lado direito do prédio deslocam-se para a sua saída mais próxima no lado direito do mesmo, dispersando-se para três portas disponíveis (principal, traseira e porta do bar).

Tal como nos cenários apresentados anteriormente, com exceção do cenário 2 da segunda estratégia, os ocupantes optaram por não utilizar os elevadores durante o processo de evacuação.

3.2.8. ESTRATÉGIA 5 – EDIFÍCIO COM 1 SAÍDA DISPONÍVEL, COM ORIENTAÇÃO

Na estratégia 5, a evacuação dos 652 ocupantes é realizada por uma das quatro saídas disponíveis no edifício. Ao contrário das abordagens anteriores, a evacuação dos ocupantes é realizada com

orientação, ou seja, as pessoas são direcionadas para as saídas através de um determinado caminho, meio de evacuação ou é atribuído um determinado tempo de espera aos ocupantes.

Nesta estratégia foram realizadas diversas iterações com o intuito de obter o menor tempo total de evacuação, como tal na Tabela 9 são apresentados os melhores resultados das simulações computacionais.

Tabela 9 – Tempos de evacuação da estratégia 5

Cenários	Resultados da simulação – S/ elevadores (Tempo de movimentação)	Tempo total de evacuação – S/ elevadores (adicionando o Tempo de pré-evacuação) (CFPA, 2009)	Resultados da simulação – C/ elevadores (Tempo de movimentação)	Tempo total de evacuação – C/ elevadores (adicionando o Tempo de pré-evacuação) (CFPA, 2009)
1. Porta Principal disponível	219,4 s	399,4 s	218,7 s	398,7 s
2. Porta Secundária disponível	343,2 s	523,2 s	350,4 s	530,4 s
3. Porta Traseira (junto às escadas principais) disponível	298,8 s	478,8 s	302,7 s	482,7 s
4. Porta Bar disponível	290 s	470,0 s	287,4 s	467,4 s

Pela Tabela 9, pode-se concluir que tal como na estratégia 1 só com uma porta e os ocupantes sem orientação, o cenário com menor tempo de evacuação é o cenário com a porta principal aberta e o pior cenário é aquele em que a única saída disponível é a porta secundária, contudo, denotou-se uma melhoria nos tempos de evacuação com a adição de comportamentos de orientação aos ocupantes.

No primeiro cenário, foi atribuído um comportamento de sair pela porta principal sem qualquer constrangimento a todas as salas do piso 1, com exceção da sala 3. Ao grupo associado a esta sala, foi atribuído um tempo de espera de 40 segundos, tal como se pode observar na Figura 66, para evitar a enchente de ocupantes que se forma no corredor estreito junto à porta secundária.

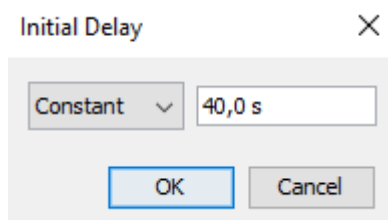


Figura 66 – Atribuição de um tempo de espera de 40 segundos

No piso 2, na maioria das salas, foi atribuído um comportamento de encaminhamento ao átrio principal do mesmo piso, onde se encontram os elevadores e as duas escadarias (principal e alternativa) e depois, os ocupantes selecionam o melhor percurso a seguir. Para obrigar os ocupantes a dirigirem-se para esta localização, foi criado um “waypoint” ou ponto de referência, como demonstra a Figura 67.

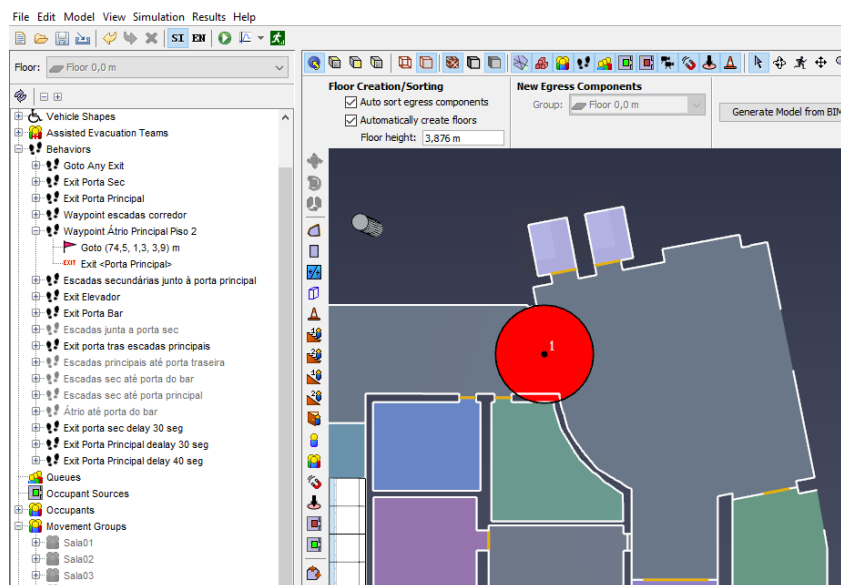


Figura 67 – Criação de um ponto de referência para onde os ocupantes se devem dirigir

No caso do restaurante, o ponto de referência criado fica numa zona mais próxima das escadas, porque, não seria benéfico para o sistema, orientar as pessoas para uma zona onde iriam entrar em conflito com os ocupantes oriundos das restantes salas. No restaurante, também teve de ser adicionado um tempo de espera de 40 segundos para que o átrio do piso 2 não fique obstruído.

Visto que existem mais meios de ligação entre os dois pisos, foi criado um comportamento que obriga os ocupantes a dirigirem-se às escadas do corredor e, outro comportamento, que direciona as pessoas para as escadas junto à porta secundária. Em todas as iterações realizadas para este cenário, a orientação dos ocupantes para as escadas secundárias demonstrou ser prejudicial. Depois da realização de que estas escadas seriam prejudiciais neste mesmo cenário, foi parametrizado que as pessoas das salas 11 à 13 teriam que seguir pelas escadas do corredor. Porém, também se concluiu que isto iria causar uma elevada concentração de pessoas à entrada desta escadaria. Como tal, foi definido que as pessoas da sala 11 seguem até ao ponto de referência do átrio do piso 2, e, depois, são evacuadas pela escadaria principal até à sua saída, e, as pessoas da sala 12 e 13 dirigem-se até porta principal pela escadaria do corredor.

O gráfico da evolução da evacuação do cenário 1 sem elevadores é apresentado de seguida na Figura 68.

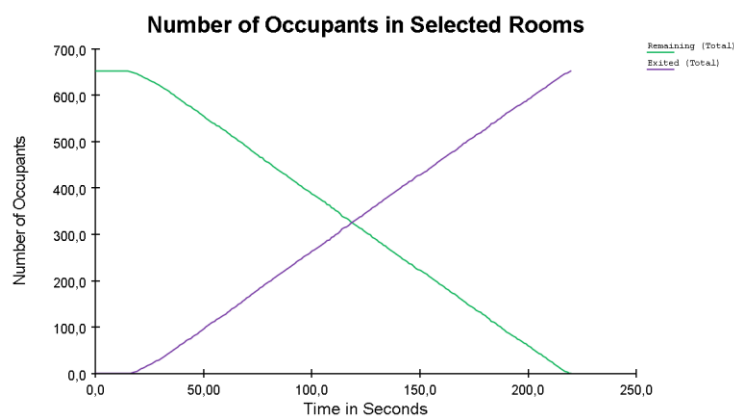


Figura 68 – Gráfico da evolução da evacuação do cenário 1 (sem elevadores)

Neste mesmo cenário, foram também realizadas iterações para deprender se a utilização de elevadores melhoraria o tempo de evacuação. Para tal, foi criado o comportamento de orientar as pessoas para os elevadores, tal como se observar na Figura 69.

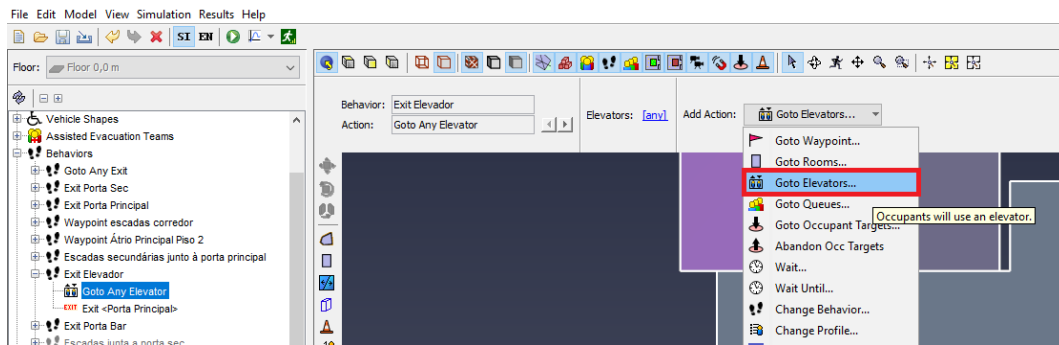


Figura 69 – Criação do comportamento que orienta as pessoas para os elevadores

A atribuição da orientação de “Go to Elevators” aos ocupantes da cozinha de produção central, originou uma diminuição do tempo total de evacuação, que, apesar de ser uma diferença reduzida, resulta do retardamento de marcha que existe nas escadas principais devido ao aglomerado de pessoas que se forma neste meio de ligação, e que acaba por ser adiado com a orientação destas pessoas para os elevadores. Esta diferença é mínima, porque o número de ocupantes da cozinha é reduzido. No caso em que os ocupantes das outras salas (com exceção do laboratório alimentar e do laboratório de vinhos) são orientadas para os elevadores, ocorre um aumento do tempo total de evacuação porque os dois elevadores têm uma capacidade conjunta de movimentar 16 pessoas de cada vez, o que provocaria a necessidade da realização de mais do que uma viagem para evacuar as pessoas pertencentes a essas salas. É importante referir que na atribuição deste comportamento, constatou-se que os grupos de movimento que tinham este comportamento associado tiveram de ser eliminados porque verificou-se que os mesmos ficavam presos nos elevadores devido a um erro do programa. Esta mesma situação é do conhecimento da empresa detentora do Pathfinder (Thunderhead Engineering), que está a trabalhar no sentido de resolver a situação.

O gráfico da evolução da evacuação para o cenário 1 com a utilização de elevadores pode ser encontrado na Figura 70.

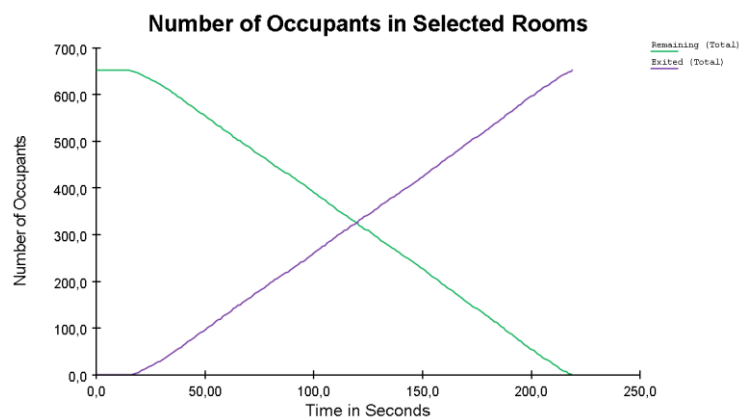


Figura 70 – Gráfico da evolução da evacuação do cenário 1 (com elevadores)

No segundo cenário, que demonstrou ser o pior, a evacuação do primeiro piso foi realizada com os ocupantes a dirigirem-se para a porta secundária sem qualquer constrangimento e as pessoas do

piso 2 a deslocarem-se para o primeiro piso pelas escadas secundárias junto à saída secundária. Qualquer tentativa de orientar os ocupantes do segundo piso para outro meio de ligação demonstrou ser ineficaz. Tal como visto anteriormente, forma-se um aglomerado de pessoas junto ao corredor estreito que na primeira estratégia foi identificado com um dos principais pontos de constrangimento do edifício. De seguida é apresentado na Figura 71 o gráfico do progresso da evacuação em função do tempo para o cenário 2.

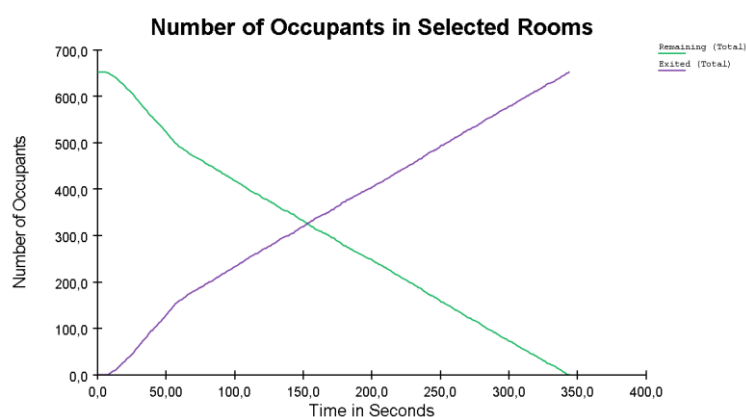


Figura 71 – Gráfico da evolução da evacuação do cenário 2 (sem elevadores)

Pelo gráfico anterior, é possível observar que a evacuação até aos 60 segundos ocorre de uma forma acelerada e, que, a partir desse momento ocorre um retardamento do processo, visto que o declive da reta passa a ser menor a partir de $t=60s$.

Neste mesmo cenário com elevadores, direcionar os ocupantes da sala de cozinhas individuais para os elevadores permitiu a obtenção do melhor tempo de evacuação, contudo, esse mesmo tempo foi superior ao do cenário sem elevadores.

No cenário 3, em que a única porta disponível é a porta traseira das escadas, inicialmente foi feita uma iteração semelhante à do cenário 1 desta mesma estratégia, porém não surtiu efeito porque apesar desta saída ser próxima da porta principal, fica atrás das escadaria principal, como tal, se não for feita nenhuma alteração à parametrização dos comportamentos dos ocupantes, verifica-se que as pessoas que tentam utilizar estas mesmas escadas, ficam presas porque a saída desta escadaria fica também ela sobrelotada.

Neste terceiro cenário, as pessoas do restaurante, da cozinha e do laboratório de microbiologia alimentar foram orientadas para seguir até ao átrio principal do piso 2 e, depois, a seguirem o caminho que fica menos sobrelotado entre as escadas principais e secundárias. Neste mesmo piso, os ocupantes da sala de cozinhas individuais, do laboratório de vinhos, da sala 12, 13 e 14 foram orientadas para seguir pelas escadas do corredor e de seguida para a saída disponível. Para evitar um aglomerado de pessoas junto à entrada das escadas do corredor, as pessoas da sala 11 foram direcionadas para as escadas secundárias. No piso 1, as pessoas das salas 7 a 10 foram orientadas para se dirigirem para a porta secundária sem qualquer restrição nem tempo de espera, enquanto que nas pessoas das salas 1 a 6 foi imposto um tempo de espera de 40 segundos para retardar a confrontação com as pessoas oriundas do segundo piso. Tal como é possível observar na Figura 72, a evacuação é realizada de uma forma constante, sendo que o declive da reta praticamente não sofre alterações.

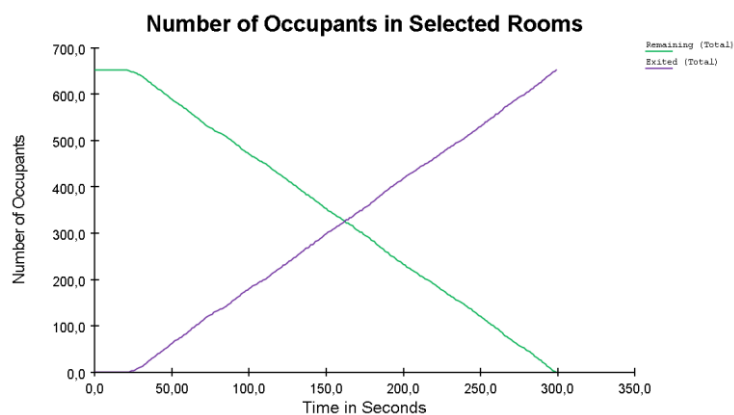


Figura 72 – Gráfico da evolução da evacuação do cenário 3 (sem elevadores)

No cenário 3, tal como no cenário 2, a utilização dos elevadores aumentou o tempo total de evacuação, porém é importante salientar que a iteração que permitiu a obtenção do melhor tempo de uma estratégia com elevadores, foi a substituição do comportamento dos ocupantes da sala das cozinhas individuais pelo comportamento “*Go to Elevators*”.

No cenário 4, em que a única porta disponível é a porta do bar, as pessoas do piso 1 foram orientadas a dirigirem-se até à porta do bar sem qualquer restrição. No piso 2, as pessoas das salas 11, 12 e 13 foram orientadas a dirigirem-se pelas escadas do corredor até à saída disponível; os ocupantes do laboratório de microbiologia e das cozinhas a dirigirem-se pelas escadas principais até à porta do bar e para reduzir o fluxo de ocupantes nas escadarias, os ocupantes da sala 14, do *Wine Lab* e do restaurante iniciam a marcha com um tempo de espera de 100 segundos.

Com as orientações anteriores, sem a utilização dos elevadores, o tempo total de movimentação foi de 290 segundos, ou seja, houve uma redução de 0,5 segundos relativamente a este mesmo cenário na estratégia sem orientação.

Neste mesmo cenário com orientação, foram realizadas tentativas de redução do tempo de evacuação com a utilização de elevadores. O cenário que apresentou o melhor resultado, foi o cenário em que os ocupantes das cozinhas individuais receberam a orientação “*Go to Elevators*”. Os gráficos com a evolução do processo de evacuação e com utilização dos elevadores no cenário 4, encontram-se nas Figuras Figura 73 e Figura 74, respetivamente.

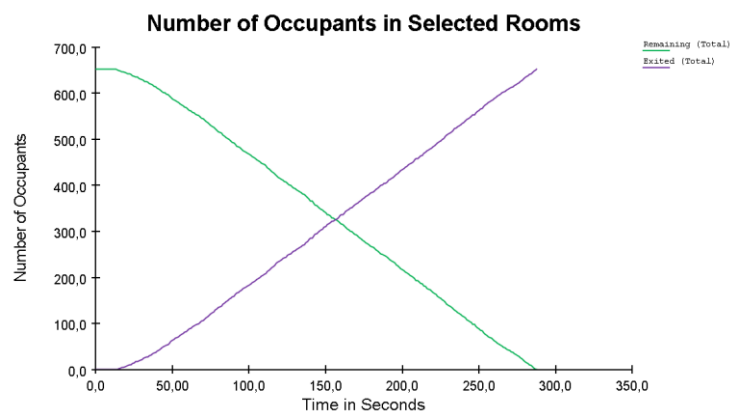


Figura 73 – Gráfico da evolução da evacuação do cenário 4 (com elevadores)

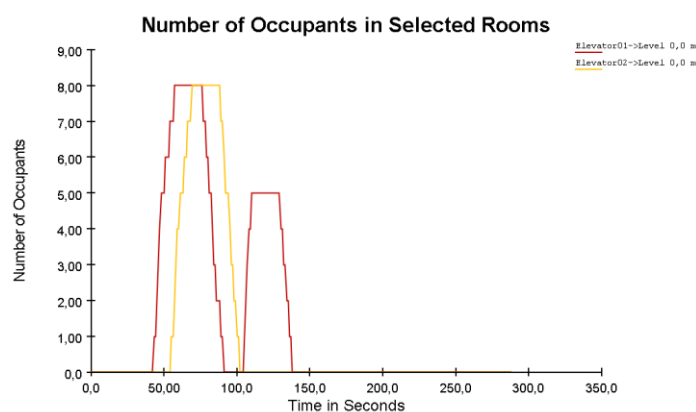


Figura 74 – Gráfico com a ocupação dos elevadores em função do tempo no cenário 4 (com elevadores)

Analisando os gráficos anteriores, pode-se concluir que a evacuação realizada através da porta do bar, apresenta uma tendência linear e quando o processo se encontra a meio termo, metade dos ocupantes do edifício ainda não tinham sido evacuados. Também se pode constatar que para evacuar os ocupantes da sala com cozinhas individuais, um dos elevadores teve de ser utilizado por duas vezes.

3.2.9. ESTRATÉGIA 6 – EDIFÍCIO COM 2 SAÍDAS DISPONÍVEIS, COM ORIENTAÇÃO

Na estratégia 6, a evacuação dos ocupantes é efetuada por duas das quatro saídas disponíveis do edifício. Nesta abordagem, os ocupantes são orientados para as saídas disponíveis através de um determinado caminho, meio de evacuação, ou, é atribuído um determinado tempo de espera antes de iniciarem o movimento.

Nesta estratégia foram realizadas diversas iterações com o intuito de obter o menor tempo total de evacuação para as 6 combinações possíveis de saídas. Os resultados das simulações são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Tempos de evacuação da estratégia 6

Cenários	Resultados da simulação – S/ elevadores (Tempo de movimentação)	Tempo total de evacuação – S/ elevadores (adicionando o Tempo de pré-evacuação) (CFPA, 2009)	Resultados da simulação – C/ elevadores (Tempo de movimentação)	Tempo total de evacuação – C/ elevadores (adicionando o Tempo de pré-evacuação) (CFPA, 2009)
1. Porta Principal e Porta Secundária disponíveis	149,4 s	329,4 s	149,2 s	329,2 s
2. Porta Principal e Porta Traseira disponíveis	178,4 s	358,4 s	176,0 s	356,0 s
3. Porta Principal e Porta Bar disponíveis	172,0 s	352,0 s	176,7 s	356,7 s
4. Porta Secundária e Porta Bar disponíveis	164,9 s	344,9 s	164,9 s	344,9 s

5. Porta Secundária e Porta Traseira disponíveis	164,9 s	344,9 s	164,9 s	344,9 s
6. Porta Traseira e Porta Bar disponíveis	188,0 s	368,0 s	194,0 s	374,0 s

Pela Tabela 10, é possível observar que o cenário com o menor tempo total de evacuação é o cenário 1 com a porta principal e a porta secundária disponíveis, ao passo que o pior cenário é o 6, com a porta traseira e com a porta do bar disponíveis.

No primeiro cenário com a porta principal e a porta secundária disponível, os ocupantes das salas 1 à 4 do primeiro piso foram orientadas para seguir para a porta secundária sem qualquer constrangimento. No mesmo piso, as pessoas das salas 5 à 10 têm o comportamento de se dirigirem para a porta principal, também sem restrições. No piso 2, os ocupantes das salas 11 à 13 dirigem-se para as escadas secundárias e seguem o seu caminho para a porta secundária. Os ocupantes da sala 14, do *Wine Lab*, da sala com cozinhas individuais e da cozinha de produção central dirigem-se pelas escadas do corredor e de seguida realizam o seu movimento para a porta principal. As pessoas do restaurante realizam o seu percurso pela escadaria principal até saírem pela porta principal. Os gráficos com a evolução do processo de evacuação e com a taxa de fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 1, encontram-se nas Figuras Figura 75 e Figura 76, respetivamente.

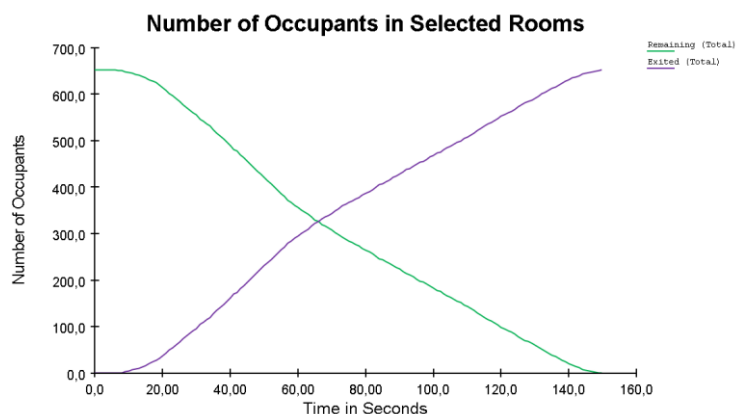


Figura 75 – Gráfico da evolução da evacuação do cenário 1 (sem elevadores)

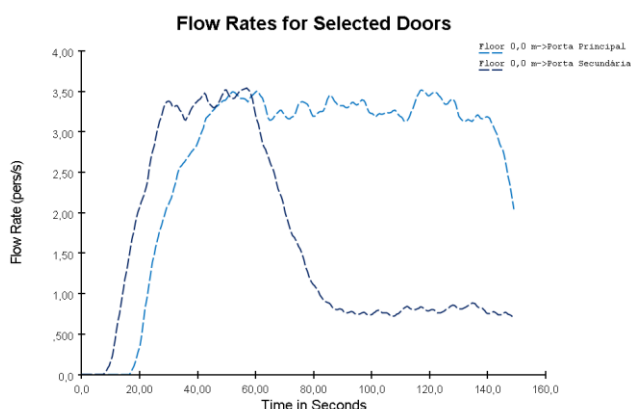


Figura 76 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 1 (sem elevadores)

Tal como se pode observar pelos gráficos anteriores, a evacuação decorreu com maior velocidade até perto dos 60 segundos e que a porta principal foi mais utilizada que a porta secundária. Também

se pode concluir que as duas portas foram utilizadas até ao final do processo de evacuação, visto que no momento final em que $t=149.4$ s, a taxa de fluxo nas duas portas é superior a 0.

Neste mesmo cenário com elevadores, foi realizada a simulação com os ocupantes da cozinha de produção central a utilizarem os elevadores. A utilização dos mesmos, provocou uma melhoria residual do tempo de evacuação (0,2 segundos).

No cenário 2, com a porta principal e com a porta traseira disponíveis, tentou-se evitar um fluxo cruzado das pessoas que seguem do piso 1 com as pessoas do piso 2 que utilizam a escadaria principal, como tal, os ocupantes do primeiro piso têm um comportamento de seguir para a porta principal sem nenhuma restrição e as pessoas dos piso 2 (com exceção das salas 11 e 12) seguem pela escadaria principal e pela alternativa saindo posteriormente pela porta traseira, sem se encontrarem com as pessoas do piso 1. Para diminuir o tempo total de evacuação, foi necessário fazer iterações que reduzissem o fluxo de pessoas a dirigirem-se pelas escadas principais e pelas alternativas, como tal o que permite o menor tempo de evacuação, é o cenário em que os ocupantes da sala 11 e da sala 12 dirigem-se até às escadas do corredor e prosseguem o seu caminho até saírem pela porta principal. De seguida são apresentados os gráficos do progresso da evacuação e da taxa de fluxo de ocupantes nas saídas em função do tempo nas Figuras Figura 77 e Figura 78, respetivamente.

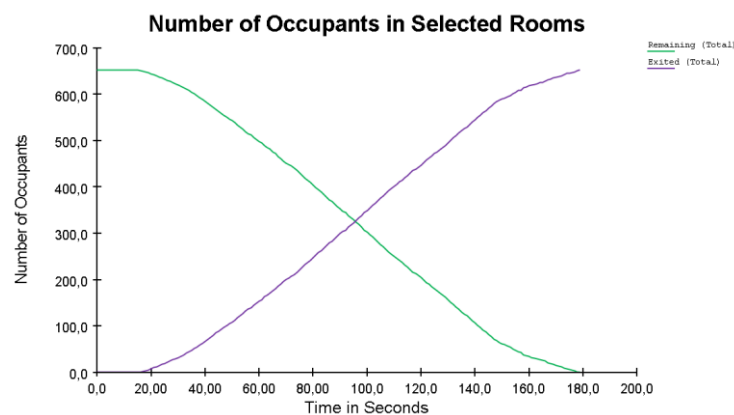


Figura 77 – Gráfico da evolução da evacuação do cenário 2 (sem elevadores)

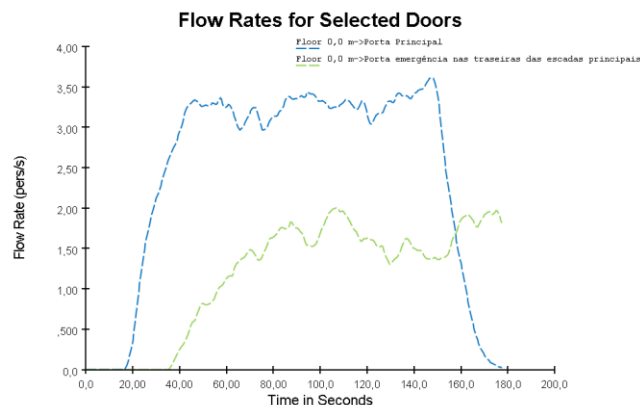


Figura 78 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 2 (sem elevadores)

Tal como é possível observar pelas Figuras Figura 77 e Figura 78, a velocidade da evacuação sofre uma diminuição já numa fase final do processo, mais concretamente, próximo do instante $t=160$ s, que coincide com o momento em que o fluxo de pessoas a atravessar a porta principal também

diminui. Foram feitas tentativas para orientar os últimos grupos de movimento a abandonar o edifício, em direção à porta principal de forma a reduzir o tempo total de evacuação, porém, essas tentativas demonstraram-se ineficazes, como tal podemos assumir que este cenário está otimizado, apesar de a evacuação se prolongar pela porta traseira depois de ter terminado na porta principal.

No segundo cenário com elevadores, os ocupantes da cozinha de produção central foram orientados para dirigirem-se para os elevadores. Consequentemente, o tempo de evacuação diminuiu 2,4 segundos. Tal resultou da diminuição de tráfego de pessoas a utilizarem a escadaria principal.

No cenário 3 com a porta principal e a porta do bar disponíveis, no piso 1, os ocupantes da sala 1 à 4 foram orientados para prosseguir até à porta principal e os ocupantes da sala 5 à 10 a dirigirem-se para a porta do bar. No piso 2, os ocupantes da sala 11 são orientados a prosseguir pelas escadas secundárias até à porta principal; os ocupantes da sala 13 são instruídos a seguir pelas escadas do corredor até à porta principal; as pessoas das salas 12, 14, dos laboratórios e das cozinhas dirigem-se pela escadaria principal até prosseguirem o seu movimento até à porta principal; e os ocupantes do restaurante são orientados para seguir até ao átrio principal do segundo piso e de seguida a prosseguirem até à porta de emergência situada na localização que se destina a ser um bar. Neste mesmo cenário, com elevadores, o menor tempo de evacuação resulta da orientação dos ocupantes da cozinha central para aqueles.

Os gráficos apresentados nas Figuras Figura 79 e Figura 80, representam o número de ocupantes que evacuam o edifício em função do tempo e o fluxo de pessoas em cada uma das portas, para o cenário 3 sem elevadores.

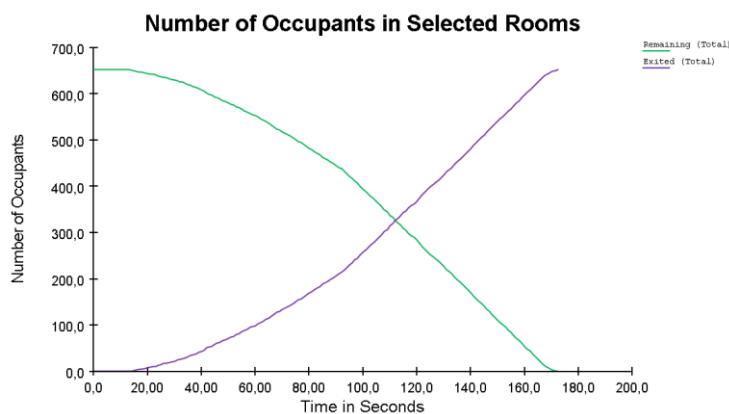


Figura 79 – Gráfico da evolução da evacuação do cenário 3 (sem elevadores)

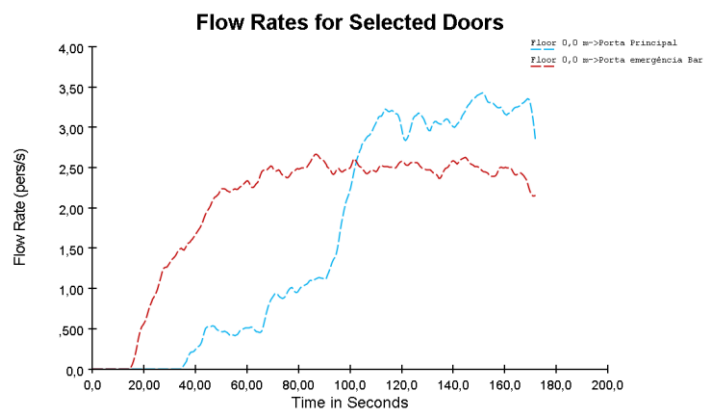


Figura 80 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 3 (sem elevadores)

Analisando os gráficos das Figuras Figura 79 e Figura 80, verifica-se que a evacuação ocorre de forma mais lenta até aos 100 segundos, porque é a partir deste instante, que existe um aumento da utilização da porta principal. Também se conclui que as duas portas disponíveis são utilizadas até ao momento final da evacuação.

A simulação com a utilização de elevadores fez aumentar o tempo de evacuação em 4,7 segundos relativamente ao cenário sem elevadores, porque os ocupantes após saírem dos elevadores, confluíram com as pessoas do piso 1 que se encontravam a realizar a sua marcha em direção à porta principal.

No cenário 4, com a porta secundária e com a porta do futuro bar disponíveis, os ocupantes da sala 1 à sala 6 foram orientados para se deslocarem até à porta secundária e os ocupantes das salas 7 à 10 foram instruídos a seguirem até à porta do bar. No piso 2, os ocupantes das salas 11 à 13 foram direcionados a seguir pelas escadas secundárias até à porta secundária; os ocupantes da sala 14, do *Wine Lab* e da sala com as cozinhas individuais foram orientados para seguir pelas escadas do corredor e a seguirem a marcha até à porta do bar; as pessoas do laboratório de microbiologia alimentar, da cozinha e do restaurante foram orientados para seguirem até ao átrio principal do piso 2 e de seguida a utilizarem as escadas principais e as alternativas, dirigindo-se de seguida para a porta do bar. Os gráficos com a evolução do processo de evacuação e com a taxa de fluxo de pessoas saídas disponíveis no cenário 4, encontram-se nas Figuras Figura 81 e Figura 82, respetivamente.

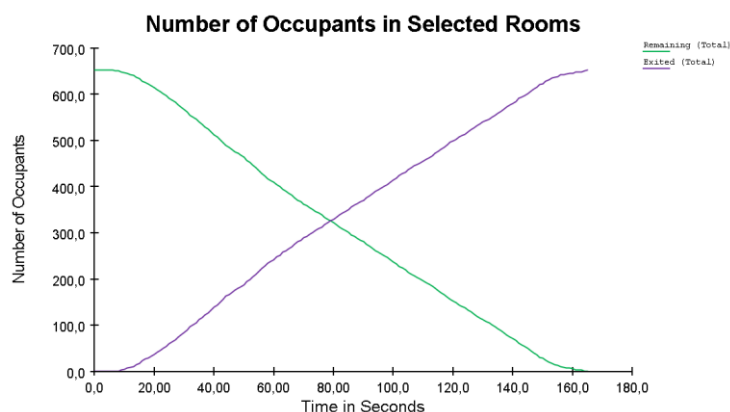


Figura 81 – Gráfico da evolução da evacuação do cenário 4

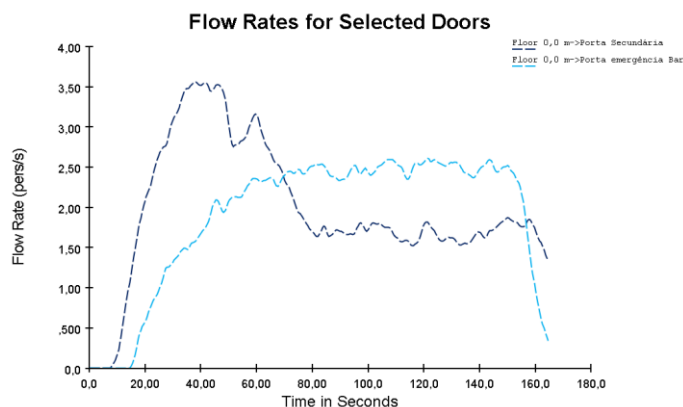


Figura 82 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 4

Com os gráficos apresentados anteriormente, é possível analisar que o processo de evacuação segue uma tendência linear e que após metade do tempo decorrido, 50% das pessoas já haviam sido evacuadas. Também se conclui que durante este processo, ambas as saídas têm uma elevada taxa de utilização, sendo que no momento do término de evacuação, tanto a porta secundária como a porta do bar foram utilizadas, como tal, qualquer alteração da orientação dos últimos grupos de movimentação iria aumentar o tempo total de evacuação.

Neste mesmo cenário, a utilização de elevadores não teve qualquer impacto no tempo total de evacuação.

No cenário 5 em que as saídas disponíveis são a porta secundária e a porta traseira, os ocupantes das salas 1 à 6 foram orientados para se dirigirem até à porta secundária e os outros ocupantes do piso 1 (salas 7 à 10) a encaminharem-se para a porta traseira. No piso 2, as pessoas das salas 11 à 13, foram orientados para seguirem pelas escadas secundárias até à porta secundária; os ocupantes da sala 14, dos laboratórios e da sala com cozinhas individuais foram instruídos para seguirem pelas escadas do corredor até à porta traseira; os ocupantes da cozinha e do restaurante foram orientados para seguirem até ao átrio principal do piso 2 e para prosseguirem pelas escadas principais e escadas alternativas até à porta traseira.

Os gráficos apresentados nas Figuras Figura 83 e Figura 84, representam o número de ocupantes que evacuam o edifício em função do tempo e o fluxo de pessoas em cada uma das portas, para o cenário 5.

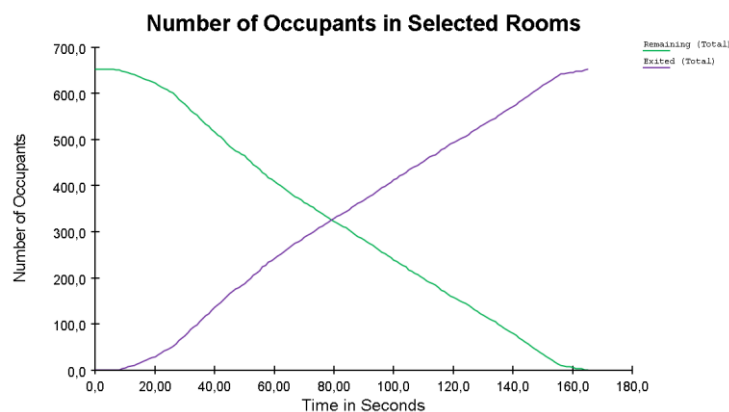


Figura 83 – Gráfico da evolução da evacuação do cenário 5

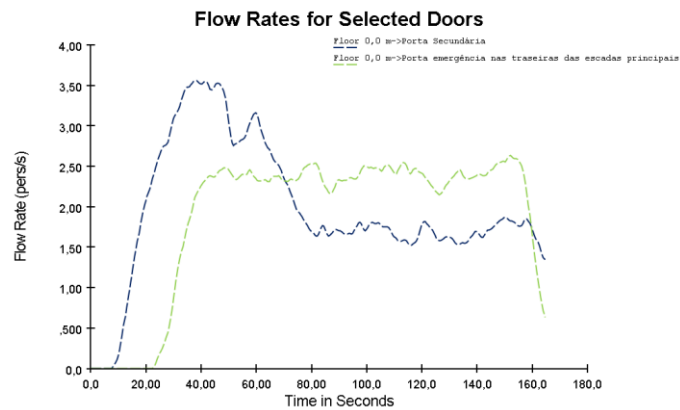


Figura 84 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 5

Com os gráficos apresentados anteriormente, é possível analisar que o processo de evacuação segue uma tendência linear e que após metade do tempo decorrido, 50% das pessoas já haviam sido evacuadas. Também se conclui que durante este processo, ambas as saídas têm uma elevada taxa de utilização, e que no momento do término de evacuação, tanto a porta secundária como a porta traseira foram utilizadas. Como tal, qualquer alteração da orientação dos últimos grupos de movimentação iria aumentar o tempo total de evacuação. Neste cenário, o fluxo de pessoas na porta secundária atinge um pico superior comparativamente à porta traseira, devido ao facto da porta secundária possuir uma largura superior à porta traseira.

No cenário 5, a utilização de elevadores não teve impacto no tempo total de evacuação.

No cenário 6, com a saída traseira e a porta do futuro bar disponíveis, no piso 1, os ocupantes das salas 1 à 7 foram orientados para prosseguirem até à porta traseira e os ocupantes das salas 8 à 10 foram direcionados para a saída do bar. No piso 2, todos os ocupantes foram orientados para se deslocarem até ao átrio e de seguida, prosseguirem pela escadaria principal e pela escadaria alternativa até à porta do bar.

Os gráficos apresentados nas Figuras Figura 85 e Figura 86, representam o número de ocupantes que evacuam o edifício em função do tempo e o fluxo de pessoas em cada uma das portas, para o cenário 6 sem elevadores.

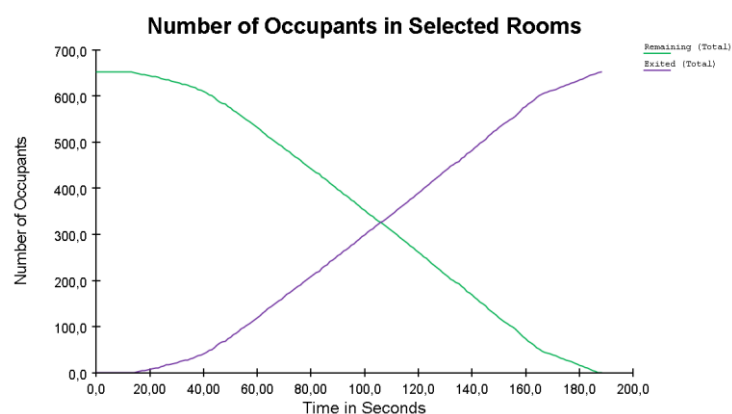


Figura 85 – Gráfico da evolução da evacuação do cenário 6 (sem elevadores)

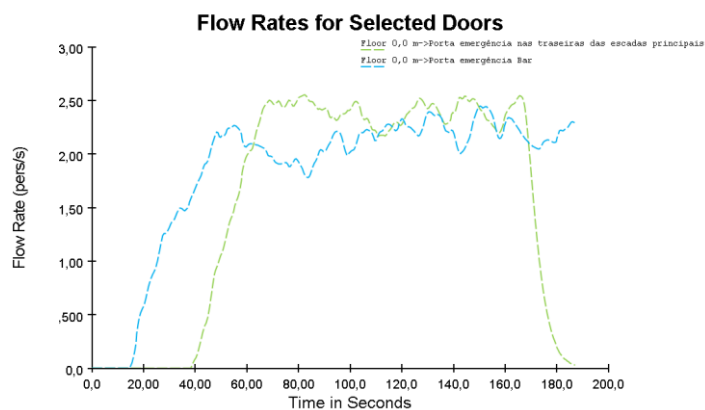


Figura 86 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 6 (sem elevadores)

Tal como descrito anteriormente, o cenário 6 é o que apresenta o maior tempo de evacuação e tal como podemos ver pelo gráfico da Figura 85, quando a evacuação se encontra a metade do tempo total ($t=94$ s), metade dos ocupantes do edifício ainda não tinham sido evacuados. Pelo gráfico da Figura 86 pode-se concluir que quando o processo de evacuação termina na porta traseira, a porta do bar ainda está a ser utilizada. Todas as tentativas de orientar os ocupantes do piso 2 para seguirem outros meios de ligação entre pisos ou para se dirigirem para outras saídas, demonstraram ser impotentes, visto que aumentariam o tempo total de evacuação.

No cenário 6, com elevadores, os ocupantes da cozinha de produção central foram orientados para utilizarem aqueles. Esta iteração, desencadeou um aumento de 6 segundos na evacuação relativamente ao cenário sem elevadores, porque as pessoas ao saírem dos elevadores convergiram com os ocupantes do piso 1 que se encontravam a realizar a sua marcha em direção à porta traseira.

3.2.10. ESTRATÉGIA 7 – EDIFÍCIO COM 3 SAÍDAS DISPONÍVEIS, COM ORIENTAÇÃO

Na estratégia 7, a evacuação dos 652 ocupantes é realizada por três das quatro saídas existentes no edifício. Nesta abordagem, a evacuação das pessoas é realizada com orientação, ou seja, as pessoas são orientadas para as saídas através de um determinado caminho ou meio de evacuação.

Nesta estratégia foram realizadas diversas iterações com o intuito de obter o menor tempo total de evacuação, como tal na Tabela 11 são apresentados os melhores resultados das simulações computacionais.

Tabela 11 - Tempos de evacuação da estratégia 7

Cenários	Resultados da simulação – S/ elevadores (Tempo de movimentação)	Tempo total de evacuação – S/ elevadores (adicionando o Tempo de pré-evacuação) (CFPA, 2009)	Resultados da simulação – C/ elevadores (Tempo de movimentação)	Tempo total de evacuação – C/ elevadores (adicionando o Tempo de pré-evacuação) (CFPA, 2009)
1. Porta Principal, Porta Secundária e Porta do Bar disponíveis	136,0 s	316,0 s	140,8 s	320,8 s
2. Porta Principal, Porta Secundária e Porta Traseira disponíveis	143,3 s	323,3 s	142,6 s	322,6 s
3. Porta Principal, Porta do Bar e Porta Traseira disponíveis	172,7 s	352,7 s	171,3 s	351,3 s
4. Porta Secundária, Porta do Bar e Porta Traseira disponíveis	149,3 s	329,3 s	149,3 s	329,3 s

Através da Tabela 11, pode-se constatar que o cenário com o menor tempo de evacuação é o cenário 1 com um tempo total de evacuação de 316 segundos e que o cenário 3 é o que apresenta o maior tempo de evacuação com 352.7 segundos.

No primeiro cenário, com a porta principal, porta secundária e a porta do bar disponíveis no piso 1, os ocupantes das salas 1 à 3 são orientados a dirigirem-se para a porta secundária; as pessoas das salas 4 e 5 são instruídos a dirigirem-se para a porta principal; das salas 6 a 10 são orientados a seguirem para a porta do bar. No piso 2, os ocupantes das salas 11 e 12 são orientados a seguir pelas escadas secundárias até saírem pela porta secundária; as pessoas da sala 13 e do *Wine Lab* a seguirem pelas escadas do corredor até à porta principal; os ocupantes da sala das cozinhas individuais e o laboratório de microbiologia a irem até ao átrio principal do segundo piso e, de seguida, a utilizarem as escadas principais e as alternativas até se dirigirem para a porta do bar; os ocupantes da sala 14, da cozinha de produção central e do restaurante a seguirem até ao átrio principal e de seguida a utilizarem as escadas principais e as alternativas até se dirigirem para a saída principal.

Os gráficos apresentados nas Figuras Figura 87 e Figura 88, representam o número de ocupantes que evacuam o edifício em função do tempo e o fluxo de pessoas em cada uma das portas, para o cenário 1.

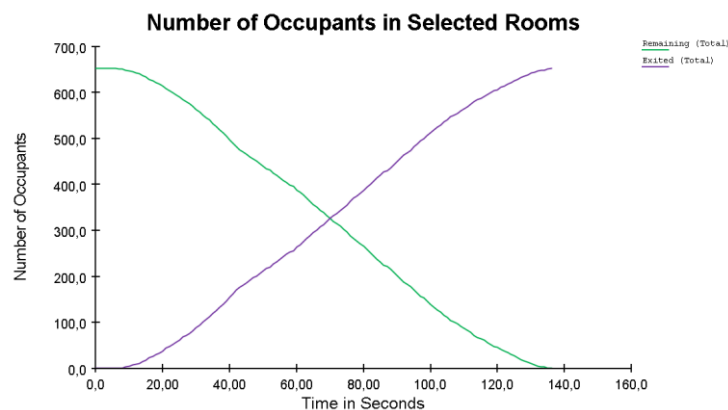


Figura 87 – Gráfico da evolução da evacuação do cenário 1 (sem elevadores)

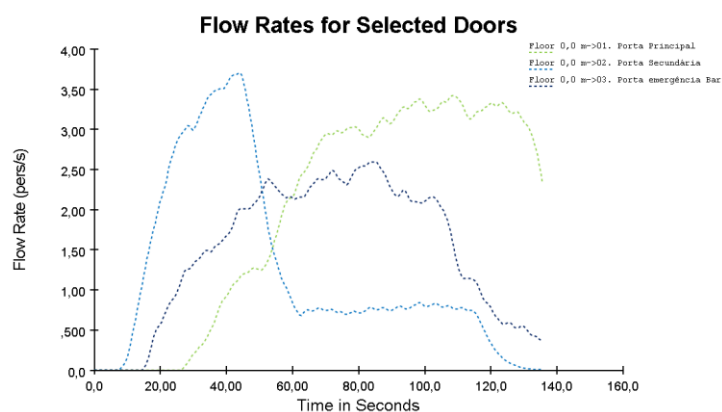


Figura 88 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 1 (sem elevadores)

Com os gráficos apresentados anteriormente, é possível analisar que após metade do tempo decorrido, 50% das pessoas já haviam sido evacuadas. Também se conclui que durante este processo, as três saídas têm uma elevada taxa de utilização, sendo que o processo de evacuação terminou primeiro na porta secundária do que nas outras portas. Qualquer tentativa de direcionar outros grupos de movimento para esta saída demonstrou ser inútil porque aumentaria o tempo total de evacuação. Pelo gráfico da Figura 88, também se pode concluir que o fluxo de pessoas que atravessa a porta secundária sofre uma redução a partir dos 50 segundos. Isto é consequência do facto de que a partir deste instante, a porta passa a ser utilizada apenas pelos ocupantes do piso 2, que tal como visto anteriormente, o fluxo desses mesmos ocupantes sofre uma redução na zona de escadaria alternativa e do corredor estreito em frente a essas mesmas escadas.

Neste mesmo cenário, foi realizada a simulação com elevadores. Nesta simulação, os ocupantes da cozinha de produção central foram orientados a utilizar os elevadores a fim de se dirigirem para a saída principal. Tal resultou num aumento de 4,8 segundos relativamente ao cenário sem elevadores, porque a saída dos ocupantes dos elevadores coincidiu com a movimentação das pessoas provenientes do corredor e que também se dirigiam para a porta principal.

No cenário 2, com a porta principal, a secundária e a traseira disponíveis, no piso1, os ocupantes das salas 1 à 3 foram orientados para seguirem até à porta principal e as pessoas das salas 4 à 10 realizam a evacuação pela saída principal. No piso 2, os ocupantes das salas 11 e 12 foram orientados para seguirem pelas escadas secundárias até saírem pela porta secundária; as pessoas das salas 13 e 14, foram instruídas para seguirem pelas escadas do corredor até seguirem em

direção à porta principal; os ocupantes do *Wine Lab* realizam a evacuação pelas escadas alternativas junto às escadas principais e prosseguem para a porta traseira; as pessoas das cozinhas, do laboratório alimentar e do restaurante prosseguem pela escadaria principal até terminarem a evacuação na porta traseira às escadas principais. As Figuras Figura 89 e Figura 90, referentes à simulação do cenário 2, demonstram, respetivamente, a quantidade de ocupantes que saíram do edifício ao longo do tempo e o fluxo de ocupantes em cada uma das portas de saída.

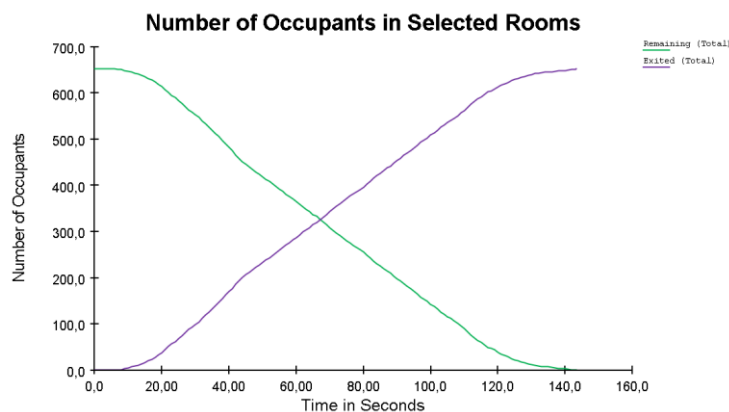


Figura 89 – Gráfico da evolução da evacuação do cenário 2 (sem elevadores)

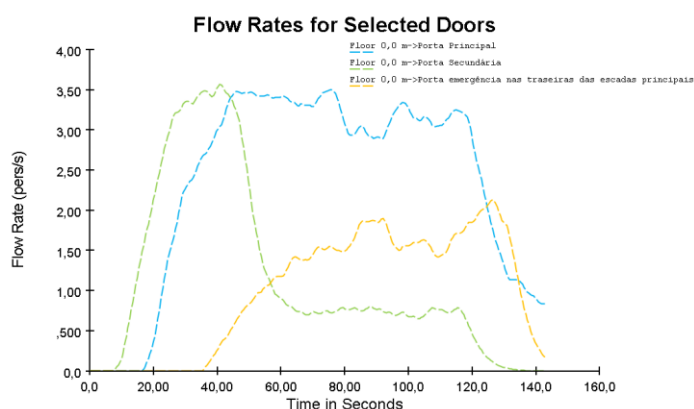


Figura 90 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 2 (sem elevadores)

Pelos gráficos anteriormente apresentados, pode-se concluir que tal como no cenário 1, 50% dos ocupantes já haviam sido evacuados após metade do processo de evacuação. Tal como no cenário 1, o processo de evacuação na porta secundária é finalizado primeiro, sendo que neste cenário, após o processo de evacuação terminar na porta secundária, são precisos mais 15 segundos para o mesmo terminar na porta traseira, e, a diferença para a porta principal é de 29 segundos. Neste cenário, foram realizadas iterações no sentido de desviar ocupantes para a porta secundária e para a porta traseira. As mesmas, mostraram-se ineficientes, porque no primeiro caso, tal como visto no cenário anterior, a zona das escadas secundárias e dos corredores estreitos ficaria sobrelotada; no segundo caso, os últimos ocupantes teriam de realizar uma distância superior para efetuar a saída, aumentando o tempo total de evacuação.

Neste mesmo cenário, com os elevadores disponíveis, foi realizada a orientação dos ocupantes da cozinha de produção central para os mesmos. Esta orientação teve uma influência reduzida, porque a diferença deste mesmo cenário com elevadores e sem elevadores é inferior a 1 segundo.

No cenário 3, com a porta principal, a porta traseira e a porta do bar disponíveis, no piso 1, os ocupantes da sala 1 e da sala 8 foram orientados a seguirem para a porta principal, enquanto que as restantes pessoas deste andar receberam a orientação de se dirigirem para a porta do futuro bar. No piso 2, os ocupantes da sala 11 e da sala com as cozinhas, foram orientadas para seguirem pelas escadas do corredor até à porta principal, ao passo que os restantes ocupantes do mesmo piso dirigem-se para o átrio principal e de seguida utilizam as escadas principais e as escadas alternativas, prosseguindo de seguida para a porta traseira.

Os gráficos apresentados nas Figuras Figura 91 e Figura 92, representam o número de ocupantes que são evacuados do edifício em função do tempo e o fluxo de pessoas em cada uma das portas no cenário 3.

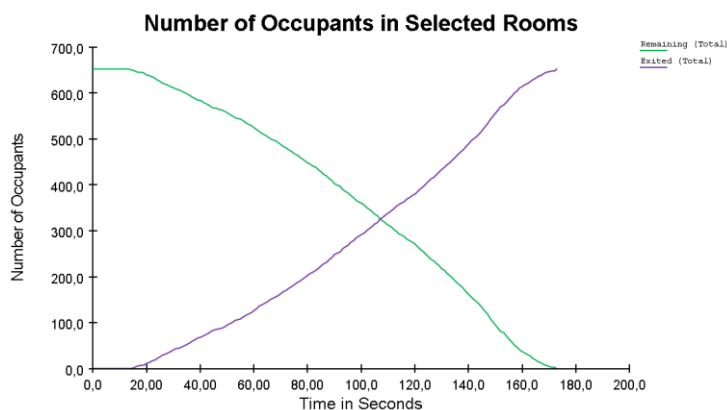


Figura 91 – Gráfico da evolução da evacuação do cenário 3 (sem elevadores)

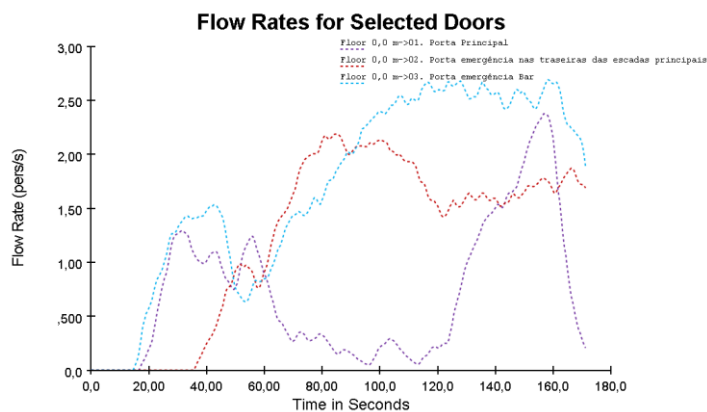


Figura 92 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 3 (sem elevadores)

Com os gráficos apresentados anteriormente, é possível analisar que, quando a evacuação se encontra a metade do tempo total (aproximadamente $t = 86s$), metade dos ocupantes ainda não tinham sido evacuados. Tal como visto anteriormente, este cenário é o que apresenta o maior tempo de evacuação. Tal ocorre, porque as três saídas disponíveis encontram-se na zona leste do edifício, obrigando os ocupantes que se situam na outra ponta do edifício a realizar um percurso longo até serem evacuados, aumentando o tempo de evacuação.

No terceiro cenário com elevadores, os ocupantes da cozinha de produção central foram orientados a utilizarem aqueles. Consequentemente, o tempo de evacuação diminuiu 1,4 segundos. Tal resultou da diminuição de tráfego de pessoas a utilizarem a escadaria principal.

No cenário 4, com a porta secundária, porta traseira e porta do bar disponíveis, no piso 1, os ocupantes das salas 1 à 3 foram orientados para se dirigirem até à porta secundária; as pessoas das salas 4 à 8 seguem para a porta traseira e os ocupantes das salas 9 e 10 realizam o movimento em direção à porta do bar. No piso 2, os ocupantes das salas 11 à 13 são orientados para dirigirem-se pelas escadarias secundárias para a porta secundária; os ocupantes da sala 14 seguem pelas escadas do corredor até à porta traseira; e as pessoas das restantes salas dirigem-se para o átrio do piso 2, seguindo pela escadaria principal ou pela escadaria alternativa até à porta do futuro bar.

Os gráficos apresentados nas Figuras Figura 93 e Figura 94, representam o número de ocupantes que evacuam o edifício em função do tempo e o fluxo de pessoas em cada uma das portas no cenário 4.

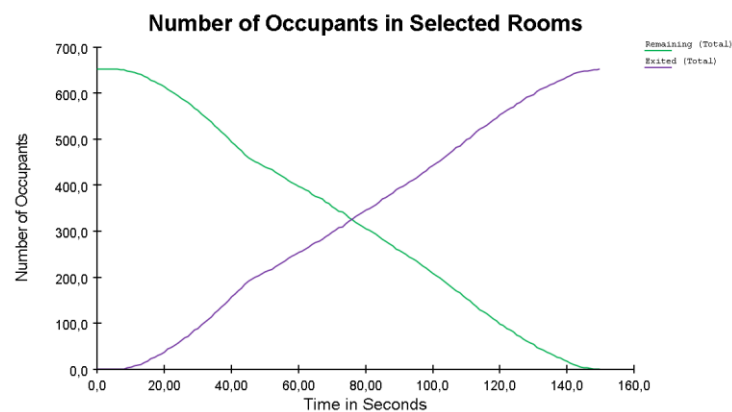


Figura 93 – Gráfico da evolução da evacuação do cenário 4

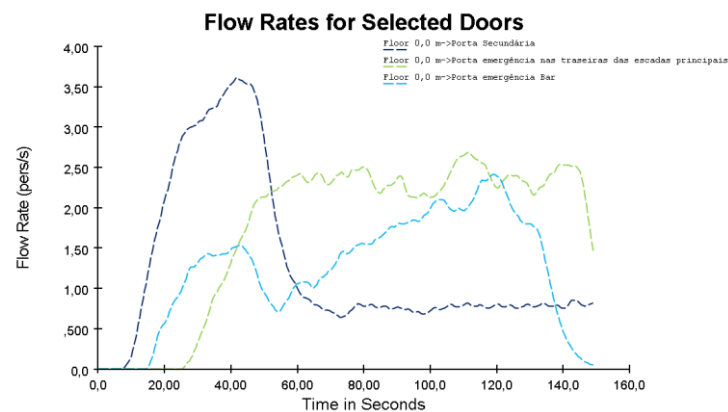


Figura 94 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída do cenário 4

Pelos gráficos anteriormente apresentados, pode-se concluir que tal como no cenário 3, o processo de evacuação de 50% dos ocupantes do edifício demora mais de metade do tempo de movimentação. Também se verifica, que o término da evacuação na porta do bar antecede o fim do processo nas outras portas. Tal ocorre, porque, neste cenário, para obter o menor tempo total de evacuação, os ocupantes da sala 13 são orientados para seguirem pela porta secundária, aumentando o tempo em que a mesma se encontra em funcionamento.

No cenário 4, a utilização de elevadores não teve impacto no tempo total de evacuação.

3.2.11. ESTRATÉGIA 8 – EDIFÍCIO COM 4 SAÍDAS DISPONÍVEIS, COM ORIENTAÇÃO

Na estratégia 8, foi efetuada a simulação da evacuação dos ocupantes da Escola Superior de Hotelaria e Turismo pelas 4 saídas disponíveis. Nesta abordagem, a evacuação das pessoas é realizada com orientação, ou seja, as pessoas são orientadas para as saídas através de um determinado caminho ou meio de evacuação.

Nesta estratégia foram realizadas diversas iterações com o intuito de obter o menor tempo total de evacuação, como tal na Tabela 12 são apresentados os melhores resultados das simulações computacionais.

Tabela 12 – Tempos de evacuação da estratégia 8

Cenário	Resultados da simulação – S/ elevadores (Tempo de movimentação)	Tempo total de evacuação – S/ elevadores (adicionando o Tempo de pré-evacuação) (CFPA, 2009)	Resultados da simulação – C/ elevadores (Tempo de movimentação)	Tempo total de evacuação – C/ elevadores (adicionando o Tempo de pré-evacuação) (CFPA, 2009)
Todas as portas disponíveis	136,0 s	316,0 s	140,8 s	320,8 s

Pela tabela anterior, pode-se aferir que o tempo de uma evacuação orientada para as 4 saídas disponíveis é igual ao melhor tempo da estratégia 7 (cenário 1).

Nesta oitava estratégia, com todas as saídas disponíveis, no piso1, os ocupantes das salas 1 à 3 são orientados a movimentarem-se para a porta secundária; as pessoas das salas 4 e 5 são instruídos a dirigirem-se para a porta principal; das salas 6 a 10 são orientados a seguirem para a porta do bar. No piso 2, os ocupantes das salas 11 e 12 são orientados a dirigirem-se pelas escadas secundárias até saírem pela porta secundária; as pessoas da sala 13 e do *Wine Lab* a efetuarem a evacuação pelas escadas do corredor até à porta principal; os ocupantes da sala das cozinhas individuais e o laboratório de microbiologia a caminharem até ao átrio principal do segundo piso e de seguida a utilizarem as escadas principais e as alternativas até se dirigirem para a porta do bar; os ocupantes da sala 14, da cozinha de produção central e do restaurante a seguirem até ao átrio principal e de seguida a utilizarem as escadas principais e as escadas alternativas até se dirigirem para a saída principal.

Qualquer iteração em que um determinado grupo de movimento é orientado para sair pela porta traseira, provoca um aumento do tempo total de evacuação, como tal, num cenário em que as quatro portas estão disponíveis, a porta traseira não possui nenhuma utilidade numa estratégia orientada.

Os gráficos apresentados nas Figuras Figura 95 e Figura 96, representam o número de ocupantes que evacuam o edifício em função do tempo e o fluxo de pessoas em cada uma das portas, para a estratégia 8.

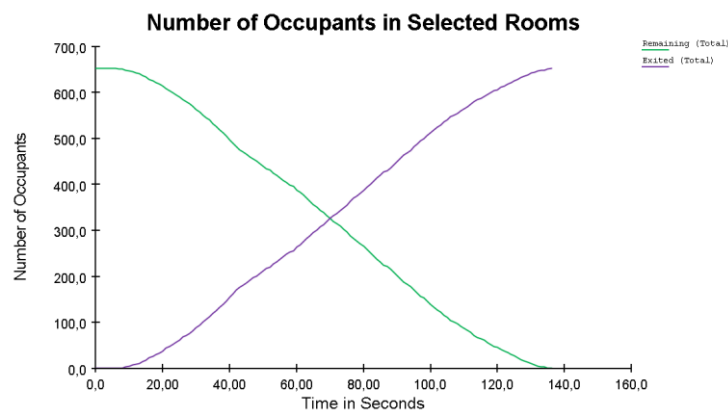


Figura 95 – Gráfico da evolução da evacuação da estratégia 8 (sem elevadores)

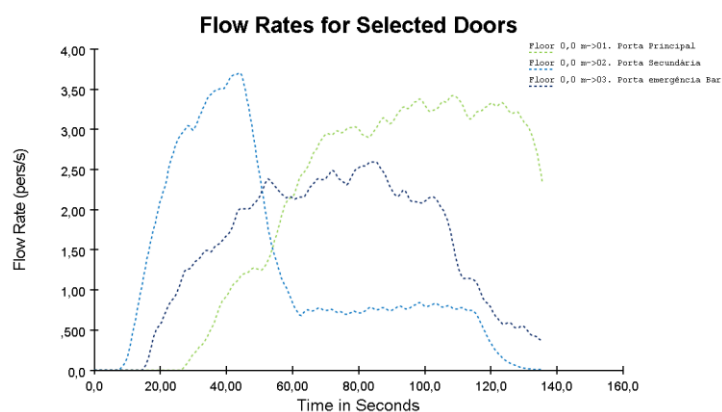


Figura 96 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída da estratégia 8 (sem elevadores)

Com os gráficos apresentados anteriores, é possível concluir que após metade do tempo decorrido, 50% das pessoas já haviam sido evacuadas. Também se conclui que durante este processo, as três saídas têm uma elevada taxa de utilização, sendo que o processo de evacuação terminou primeiro na porta secundária do que nas outras portas. Todas as tentativas de orientar outros grupos de movimento para esta saída ou para a porta traseira demonstraram-se ineficazes porque causariam um aumento ao tempo de evacuação. Pelo gráfico da Figura 96, também se pode concluir que o fluxo de pessoas que atravessa a porta secundária sofre uma redução a partir dos 50 segundos, isto justifica-se pelo facto de que a partir deste instante, a porta passa a ser utilizada apenas pelos ocupantes do piso 2, que tal como visto anteriormente, o fluxo desses mesmos ocupantes sofre uma redução na zona de escadaria alternativa e do corredor estreito em frente a essas mesmas escadas.

Neste mesmo cenário, foi realizada a simulação com elevadores. Nesta simulação, os ocupantes da cozinha de produção central foram orientados a utilizar os elevadores a fim de se dirigirem para a saída principal. Tal resultou num aumento de 4,8 segundos relativamente ao cenário sem elevadores, porque a saída dos ocupantes dos elevadores coincidiu com a movimentação das pessoas provenientes do corredor e que também se dirigiam para a porta principal.

3.2.12. ESTRATÉGIA 9 – CRIAÇÃO DE UMA NOVA SAÍDA (4 SAÍDAS DISPONÍVEIS, COM E SEM ORIENTAÇÃO)

Numa tentativa de reduzir o tempo total de evacuação, nesta estratégia 9, foi criada uma proposta de saída. Como visto anteriormente na estratégia 8, a evacuação pode ser realizada apenas com três das quatro saídas existentes, sendo que nessa mesma estratégia denotou-se que a evacuação foi mais prolongada na saída principal e na porta do bar. Nesta estratégia, foi adicionada uma porta, no Piso 1, junto à saída das escadas do corredor, para aliviar o fluxo de pessoas que se dirige até à porta do bar e para permitir uma menor deslocação para os ocupantes da sala 13 (últimos a abandonar o edifício pela porta principal da estratégia 8). Tal como se pode ver pela Figura 97, foi originada uma porta com 260 cm de largura no corredor principal junto à saída da escadaria.

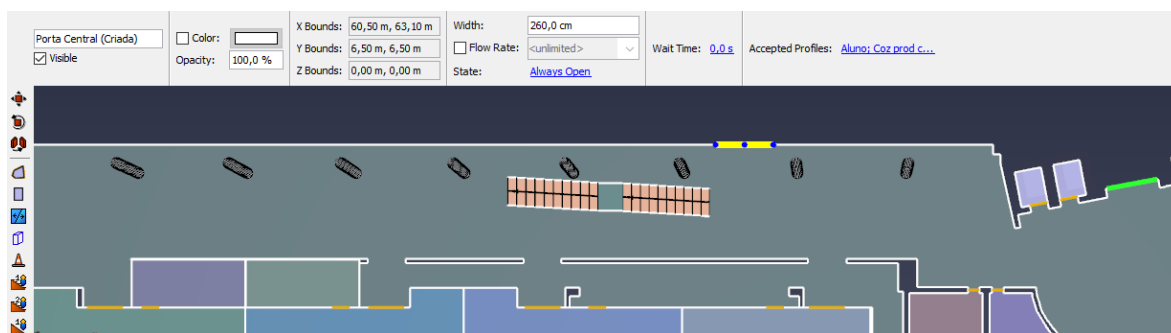


Figura 97 – Criação de uma nova saída

Na estratégia 9, foi realizada a simulação da evacuação dos ocupantes da Escola Superior de Hotelaria e Turismo por 4 saídas disponíveis (três existentes e uma criada). Nesta abordagem, a evacuação das pessoas é realizada com e sem orientação.

Na Tabela 13, encontram-se os resultados desta estratégia sem orientação.

Tabela 13 - Tempos de evacuação da estratégia 9 sem orientação

Cenário	Resultados da simulação – S/ elevadores (Tempo de movimentação)	Tempo total de evacuação – S/ elevadores (adicionando o Tempo de pré-evacuação) (CFPA, 2009)	Resultados da simulação – C/ elevadores (Tempo de movimentação)	Tempo total de evacuação – C/ elevadores (adicionando o Tempo de pré-evacuação) (CFPA, 2009)
Porta Principal, Porta Secundária, Porta do Bar e Porta Corredor disponíveis	218,8 s	398,8 s	Não foram utilizados	398,8 s

Tal como se pode observar pela Tabela 13, a existência de elevadores no modelo não teve nenhum efeito no tempo total de evacuação, visto que não foram utilizados. Num cenário sem orientação, o tempo de movimentação da estratégia 9 (218,8 s) é superior ao tempo de movimentação abordado na estratégia 4, com as quatro saídas originais disponíveis (192,7 s).

Os gráficos apresentados nas Figuras Figura 98 e Figura 99, representam o número de ocupantes que evacuam o edifício em função do tempo e o fluxo de pessoas em cada uma das portas, para a estratégia 9 sem orientação.

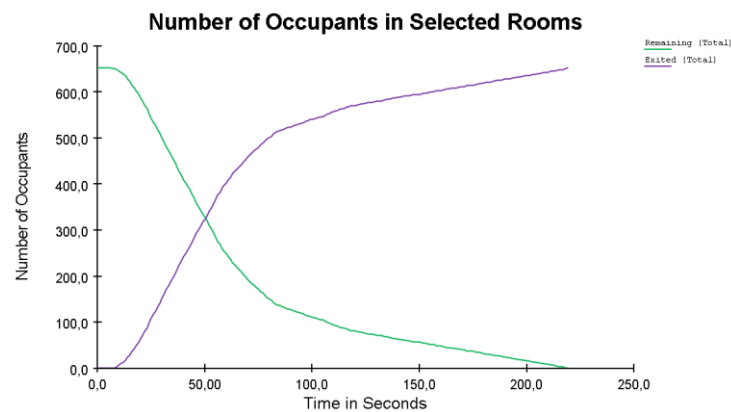


Figura 98 – Gráfico da evolução da evacuação da estratégia 9 sem orientação

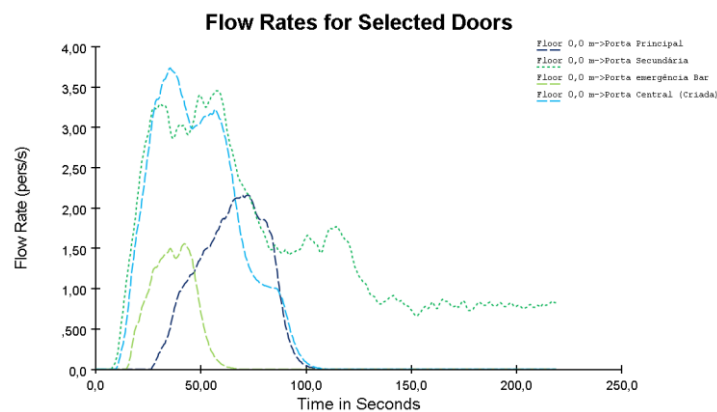


Figura 99 - Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída da estratégia 9 sem orientação

Com os gráficos anteriormente apresentados, pode-se concluir que são precisos 50 segundos para que metade dos ocupantes do edifício sejam evacuados, porém são necessários mais 169 segundos para que o processo de evacuação seja completado. Também se verifica que no instante $t=100$ s, a evacuação já tinha finalizado na porta principal, na porta do bar e na porta do corredor (criada), enquanto que na porta secundária o processo prolonga-se. Tal sucede, porque a maioria dos ocupantes da zona oeste do edifício (salas 1 à 5 e 11 à 14) encaminha-se para a porta secundária, sobrecarregando esta zona.

Nesta mesma estratégia, foi realizada a simulação da evacuação dos 652 ocupantes com orientação. No piso 1, os ocupantes das salas 1 à 3 são orientados a moverem-se para a porta secundária; as pessoas das salas 4 à 7 são orientados para a saída do corredor; os ocupantes das salas 8 à 10 são orientados a seguirem para a porta do bar. No piso 2, as pessoas das salas 11 e 12 dirigem-se para as escadas secundárias até saírem pela porta secundária; os ocupantes da sala 13 e do *Wine Lab* são orientados a efetuarem a evacuação pelas escadas do corredor até à porta do corredor; e as pessoas da sala 14, das cozinhas, do laboratório de microbiologia alimentar e do restaurante a seguirem até ao átrio principal do segundo piso e, de seguida, a utilizarem as escadas principais e as alternativas até se dirigirem para a saída principal. Numa tentativa de diminuir o

tempo de evacuação, também foi realizada a mesma parametrização com os ocupantes da cozinha a seguirem pelos elevadores até à saída principal para um cenário com os elevadores disponíveis.

Os resultados desta estratégia com orientação, encontram-se na Tabela 14.

Tabela 14 – Tempos de evacuação da estratégia 9 com orientação

Cenário	Resultados da simulação – S/ elevadores (Tempo de movimentação)	Tempo total de evacuação – S/ elevadores (adicionando o Tempo de pré-evacuação) (CFPA, 2009)	Resultados da simulação – C/ elevadores (Tempo de movimentação)	Tempo total de evacuação – C/ elevadores (adicionando o Tempo de pré-evacuação) (CFPA, 2009)
Porta Principal, Porta Secundária, Porta do Bar e Porta Corredor disponíveis	123,8 s	303,8 s	123,3 s	303,3 s

Pela Tabela 14, pode-se concluir que nesta estratégia, o facto de os ocupantes serem direccionados para um trajeto ou para uma saída específica, provocou uma diminuição de 95 segundos ao tempo de evacuação.

Os gráficos apresentados nas Figuras Figura 100 e Figura 101, representam o número de ocupantes que evacuam o edifício em função do tempo e o fluxo de pessoas em cada uma das portas, para a estratégia 9 com orientação.

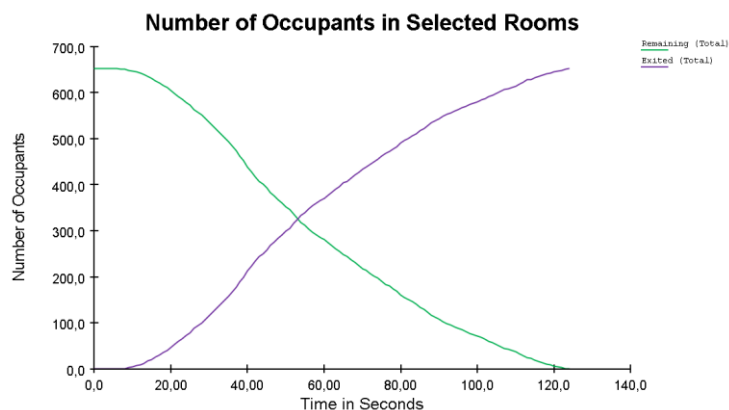


Figura 100 – Gráfico da evolução da evacuação da estratégia 9 com orientação

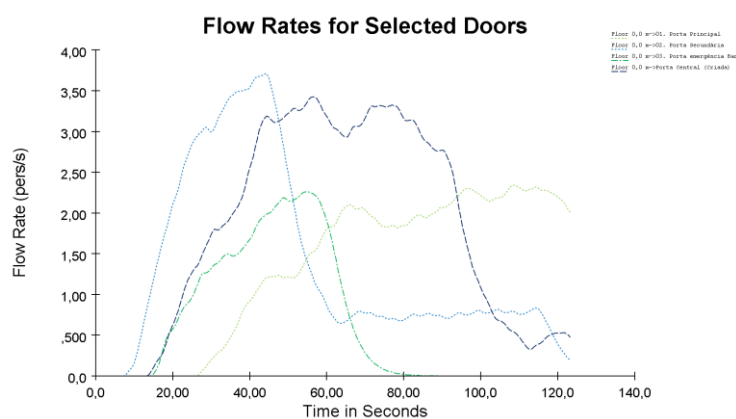


Figura 101 – Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída da estratégia 9 com orientação

A partir dos gráficos apresentados anteriormente, é possível analisar que, após metade do tempo decorrido, 50% das pessoas já haviam sido evacuadas. Também se conclui que, a criação da porta da porta do corredor permite uma redução do fluxo na porta principal, visto que, nas outras estratégias tinha-se constatado que existiam instantes em que a porta principal atingia um fluxo de 3.5 pessoas/s, enquanto que, nesta abordagem o pico máximo do fluxo nesta porta não chegou às 2.5 pessoas/s. Adicionalmente, conclui-se que a evacuação terminou simultaneamente em todas as saídas com exceção da porta do bar que terminou mais cedo. Outras tentativas de diminuir o tempo de evacuação direcionando outros grupos de movimento para a porta do bar mostraram-se incapazes de diminuir o tempo de movimentação. A única alternativa que demonstrou ser útil para uma diminuição, ainda que reduzida, do tempo de movimentação foi o direcionamento dos ocupantes da cozinha de produção central para os elevadores e, de seguida, para a porta principal, o que resultou numa redução do fluxo de ocupantes a utilizar a escadaria principal.

3.3. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Após terem sido estudadas diversas estratégias de evacuação, foi realizado um apanhado dos tempos de movimentação de todas as estratégias, cujos resultados são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Tempos de movimentação das diferentes estratégias

Nº de saídas disponíveis	Saídas Disponíveis	Tempo de movimentação s/orientação e s/ elevadores	Tempo de movimentação s/orientação e c/ elevadores	Tempo de movimentação c/orientação e s/ elevadores	Tempo de movimentação c/orientação e c/ elevadores
1	Porta Principal	220,6 s	NU	219,4 s	218,7 s
	Porta Secundária	349,2 s	NU	343,2 s	350,4 s
	Porta Traseira	301,3 s	NU	298,8 s	302,7 s
	Porta Bar	290,5 s	NU	290,0 s	287,4 s
2	Porta Principal e Porta Secundária	216,1 s	NU	149,4 s	149,2 s
	Porta Principal e Porta Traseira	196,0 s	198,1 s	178,4 s	176,0 s
	Porta Principal e Porta Bar	209,8 s	NU	172,0 s	176,7 s

	Porta Secundária e Porta Bar	249,8 s	NU	164,9 s	164,9 s
	Porta Secundária e Porta Traseira	225,3 s	NU	164,9 s	164,9 s
	Porta Traseira e Porta Bar	204,4 s	NU	188,0 s	194,0 s
3	Porta Principal, Porta Secundária e Porta do Bar	191,2 s	NU	136,0 s	140,8 s
	Porta Principal, Porta Secundária e Porta Traseira	194,4 s	NU	143,3 s	142,6 s
	Porta Principal, Porta do Bar e Porta Traseira	182,7 s	NU	172,7 s	171,3 s
	Porta Secundária, Porta do Bar e Porta Traseira	208,4 s	NU	149,3 s	149,3 s
4	Porta Principal, Porta Secundária, Porta do Bar e Porta Traseira	192,7 s	NU	136,0 s	140,8 s
4	Porta Principal, Porta Secundária, Porta do Bar e Porta Corredor (criada)	218,8 s	NU	123,8 s	123,3 s

NU – Não utilizados

Através da Tabela 15, é possível concluir que nas estratégias em que os ocupantes não receberam qualquer tipo de orientação relativamente ao caminho/meio de evacuação a que se devem dirigir, os elevadores raramente foram utilizados e o cenário com o menor tempo de evacuação foi o cenário em que a porta principal, a porta do bar e a porta traseira se encontravam disponíveis. Na tabela anterior, também se pode verificar que os tempos de evacuação numa estratégia com orientação, são inferiores aos tempos de uma estratégia em que os ocupantes não têm qualquer indicação relativamente ao caminho e ao meio de evacuação a que se devem dirigir, contudo esta análise é realizada posteriormente (Tabela 17).

A utilização dos elevadores nas estratégias com orientação permitiu reduzir o tempo de evacuação nalguns cenários, não obstante, aumentou noutros. Porém, onde há melhoria de tempo, a diferença não é substancial, enquanto nos cenários em que o tempo de evacuação foi agravado, a diferença é superior, tal como se pode observar no gráfico de colunas agrupadas da Figura 102 e na Tabela 16.



Figura 102 – Gráfico com os tempos de movimentação de uma evacuação orientada (c/ e s/ elevadores)

Tabela 16 – Tempos de movimentação com orientação (com e sem elevadores)

Nº de saídas disponíveis	Saídas Disponíveis	Tempo de movimentação s/ elevadores	Tempo de movimentação c/ elevadores	Diferença de tempos (c/ele.- s/ elev.)	Tempo de movimentação do melhor cenário	Melhor cenário
1	Porta Principal	219,4 s	218,7 s	-0,7 s	218,7 s	C/ Elevadores
	Porta Secundária	343,2 s	350,4 s	7,2 s	343,2 s	S/ Elevadores
	Porta Traseira	298,8 s	302,7 s	3,9 s	298,8 s	S/ Elevadores
	Porta Bar	290 s	287,4 s	-2,6 s	287,4 s	C/ Elevadores
2	Porta Principal e Porta Secundária	149,4 s	149,2 s	-0,2 s	149,2 s	C/ Elevadores
	Porta Principal e Porta Traseira	178,4 s	176 s	-2,4 s	176 s	C/ Elevadores
	Porta Principal e Porta Bar	172 s	176,7 s	4,7 s	172 s	S/ Elevadores
	Porta Secundária e Porta Bar	164,9 s	164,9 s	0	164,9 s	Igual
	Porta Secundária e Porta Traseira	164,9 s	164,9 s	0	164,9 s	Igual
	Porta Traseira e Porta Bar	188 s	194 s	6 s	188 s	S/ Elevadores
3	Porta Principal, Porta Secundária e Porta do Bar	136 s	140,8 s	4,8 s	136 s	S/ Elevadores
	Porta Principal, Porta	143,3 s	142,6 s	-0,7 s	142,6 s	C/ Elevadores

	Secundária e Porta Traseira					
	Porta Principal, Porta do Bar e Porta Traseira	172,7 s	171,3 s	-1,4 s	171,3 s	C/ Elevadores
	Porta Secundária, Porta do Bar e Porta Traseira	149,3 s	149,3 s	0	149,3 s	Igual
4	Porta Principal, Porta Secundária, Porta do Bar e Porta Traseira	136 s	140,8 s	4,8 s	136 s	S/ Elevadores
4	Porta Principal, Porta Secundária, Porta do Bar e Porta Corredor (criada)	123,8 s	123,3 s	-0,5 s	123,3 s	C/ Elevadores

Tal como descrito anteriormente neste capítulo, através da Tabela 15, constata-se que os tempos de evacuação numa estratégia com orientação, são inferiores aos tempos de uma estratégia em que os ocupantes não têm qualquer indicação relativamente ao caminho e ao meio de evacuação a que se devem dirigir, sendo assim, é apresentada na Tabela 17, a comparação de resultados entre os melhores cenários (com ou sem elevadores) das estratégias sem orientação relativamente às estratégias com orientação.

Tabela 17 – Comparação de resultados das estratégias com e sem orientação

Nº de saídas disponíveis	Saídas Disponíveis	Tempo de movimentação s/orientação	Tempo de movimentação c/orientação	Redução de tempo	Redução percentual	Redução média
1	Porta Principal	220,6 s	218,7 s	1,9 s	0,86%	1,12%
	Porta Secundária	349,2 s	343,2 s	6,0 s	1,72%	
	Porta Traseira	301,3 s	298,8 s	2,5 s	0,83%	
	Porta Bar	290,5 s	287,4 s	3,1 s	1,07%	
2	Porta Principal e Porta Secundária	216,1 s	149,2 s	66,9 s	30,96%	21,33%
	Porta Principal e Porta Traseira	196,0 s	176,0 s	20,0 s	10,20%	
	Porta Principal e Porta Bar	209,8 s	172,0s	37,8 s	18,02%	
	Porta Secundária e Porta Bar	249,8 s	164,9 s	84,9 s	33,99%	
	Porta Secundária e Porta Traseira	225,3 s	164,9 s	60,4 s	26,81%	
	Porta Traseira e Porta Bar	204,4 s	188,0 s	16,4 s	8,02%	
3	Porta Principal, Porta Secundária e Porta do Bar	191,2 s	136,0 s	55,2 s	28,87%	22,53%

	Porta Principal, Porta Secundária e Porta Traseira	194,4 s	142,6 s	51,8 s	26,65%	
	Porta Principal, Porta do Bar e Porta Traseira	182,7 s	171,3 s	11,4 s	6,24%	
	Porta Secundária, Porta do Bar e Porta Traseira	208,4 s	149,3 s	59,1 s	28,36%	
4	Porta Principal, Porta Secundária, Porta do Bar e Porta Traseira	192,7 s	136,0 s	56,7 s	29,42%	29,42%
4	Porta Principal, Porta Secundária, Porta do Bar e Porta Corredor (criada)	218,8 s	123,3 s	95,5 s	43,65%	43,65%

Tal como se pode observar pela Tabela 17, a orientação dos ocupantes do edifício permitiu uma redução do tempo de movimentação e que quanto mais saídas estiverem disponíveis, maior é a redução percentual verificada no sistema.

Pela Tabela 17, também se pode concluir que se os ocupantes não forem direcionados para um trajeto ou saída específica, o cenário que apresenta o menor tempo total de evacuação é o segundo cenário da estratégia 3, com a porta principal, porta traseira e porta do bar disponíveis. Numa abordagem em que os ocupantes são orientados para o percurso a realizar, os cenários com o menor tempo de evacuação, demonstram que os ocupantes não precisam de ser direcionados para a porta traseira, como tal, das quatro portas existentes, apenas a porta principal, a secundária e a porta do bar terão de estar funcionais.

Numa estratégia com 4 saídas disponíveis, a criação de uma porta com 260 cm de largura junto das escadas do corredor conjuntamente com o encaminhamento dos ocupantes, permite uma redução de 12,7 segundos que corresponde a uma redução de 9,34% do tempo de movimentação comparativamente aos resultados do melhor cenário com as saídas existentes no edifício.

4. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A presente dissertação foi desenvolvida no âmbito do Mestrado de Engenharia Mecânica, ramo de Gestão Industrial do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

O tema da dissertação consistiu no desenvolvimento de um modelo de simulação no software Pathfinder, de forma a analisar diferentes estratégias de evacuação, descobrir os melhores cenários com o menor tempo de evacuação e promover sugestões de melhoria no Edifício D da Escola Superior de Hotelaria e Turismo.

Neste capítulo são abordados os principais contributos do trabalho, assim como propostas de trabalho futuro.

4.1. PRINCIPAIS CONTRIBUTOS DO TRABALHO

A realização desta dissertação permitiu:

- Elaborar um modelo do edifício D da Escola Superior de Hotelaria e Turismo no Pathfinder;
- Num cenário em que a porta secundária se encontra indisponível, verifica-se um estrangulamento do fluxo de pessoas no piso 1, mais concretamente na zona do corredor principal junto aos elevadores;
- Um dos principais *bottlenecks* identificados no sistema foi o corredor estreito de acesso às escadas secundárias;
- Nas estratégias em que os ocupantes não receberam qualquer tipo de orientação relativamente ao caminho/meio de evacuação a que se devem dirigir, os elevadores raramente foram utilizados e o cenário com o menor tempo de evacuação foi o cenário em que a porta principal, a porta do bar e a porta traseira se encontram disponíveis;
- O facto de ocupantes serem orientados para um caminho e para uma saída para onde se devem dirigir, provoca uma diminuição do tempo total de evacuação;
- A utilização dos elevadores nas estratégias com orientação permitiu reduzir o tempo de evacuação nalguns cenários, não obstante, aumentou noutros. Porém, onde há melhoria de tempo, a diferença não é substancial, enquanto nos cenários em que o tempo de evacuação foi agravado, a diferença é superior;
- Com as saídas existentes, basta tornar a porta principal, a secundária e a porta do bar utilizáveis e disponíveis, porque concluiu-se que este é o melhor cenário quando os ocupantes são devidamente orientados;
- Numa estratégia com 4 saídas disponíveis, a criação de uma porta com 260 cm de largura junto das escadas do corredor conjuntamente com o encaminhamento dos ocupantes, a juntar às portas disponíveis do melhor cenário, permite uma redução de aproximadamente 12 segundos ao tempo total de evacuação.

4.2. LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS

Durante a elaboração do presente trabalho surgiram algumas dificuldades, das quais se pode destacar a aprendizagem de um novo software, que obrigou a um período de experimentação e de testes antes de se iniciar o desenvolvimento do modelo de simulação demonstrado ao longo da dissertação.

De modo a aprofundar o tema da dissertação, este trabalho permite que no futuro seja estudado o impacto da ocorrência de um incêndio na evacuação da escola, através de uma interligação do Pathfinder com o PyroSim (também desenvolvido pela Thunderhead Engineering). Outra melhoria que pode ser levada em consideração é a simulação da existência de ocupantes com mobilidade reduzida no edifício.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abir, I. M., Ibrahim, A. M., Toha, S. F., & Shafie, A. A. (2022). A review on the hospital evacuation simulation models. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 77, 103083.
- Alçada-Almeida, L., Tralhão, L., Santos, L., & Coutinho-Rodrigues, J. (2009). A multiobjective approach to locate emergency shelters and identify evacuation routes in urban areas. *Geographical analysis*, 41(1), 9-29.
- Almeida, J. E., Coelho, A. L., & Rodrigues, J. P. C. (2009). AS MEDIDAS DE AUTO-PROTECÇÃO E ARegulamentação PORTUGUESA DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO.
- Alonso-Gutierrez, V., & Ronchi, E. (2016). The simulation of assisted evacuation in hospitals. Paper presented at Fire and Evacuation Modelling Technical Conference, FEMTC 2016, Torremolinos, Spain.
- Babrauskas, V., Fleming, J. M., & Don Russell, B. (2010). RSET/ASET, a flawed concept for fire safety assessment. *Fire and Materials*, 34(7), 341-355.
- Banks, J. (1999, December). Introduction to simulation. In *Proceedings of the 31st conference on Winter simulation: Simulation---a bridge to the future-Volume 1* (pp. 7-13).
- Benedettini, O., & Tjahjono, B. (2009). Towards an improved tool to facilitate simulation modelling of complex manufacturing systems. The *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 43, 191-199.
- Birajdar, G. S., Singh, R., Gehlot, A., & Thakur, A. K. (2020). Development in building fire detection and evacuation system-a comprehensive review. *Int. J. Electr. Comput. Eng.(IJECE)*, 10, 6644-6654.
- Bukowski, R. W., & Tubbs, J. S. (2016). Egress concepts and design approaches. *SFPE handbook of fire protection engineering*, 2012-2046.
- Carson, J. S. (2005, December). Introduction to modeling and simulation. In *Proceedings of the Winter Simulation Conference, 2005*. (pp. 8-pp). IEEE, Orlando, FL, USA.
- Castle, C. J., & Longley, P. A. (2008). Building evacuation in emergencies: A review and interpretation of software for simulating pedestrian egress. *Geospatial Technologies and Homeland Security: Research Frontiers and Future Challenges*, 209-228.
- CFPA. (2009). Fire safety engineering concerning evacuation from buildings, CFPA -E No 19:2009 F. https://cfpa-e.eu/app/uploads/2022/05/CFPA_E_Guideline_No_19_2009.pdf
- Cheng, J. C., Tan, Y., Song, Y., Mei, Z., Gan, V. J., & Wang, X. (2018). Developing an evacuation evaluation model for offshore oil and gas platforms using BIM and agent-based model. *Automation in Construction*, 89, 214-224.
- Chiu, Y. P., Shiau, Y. C., & Lai, Y. H. (2018). Study on evacuation simulation under crowd-diversion condition. *Advances in mechanical engineering*, 10(7), 1687814018785092.
- Choi, C. J. (2021). A study on the optimization of high school buildings for evacuation safety: classroom layout and ramps in korea. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)*, 12(13), 2961-2971.
- Chu, G., Wang, J., & Wang, Q. (2012). Time-dependent fire risk assessment for occupant evacuation in public assembly buildings. *Structural Safety*, 38, 22-31.
- Crowe, S., Cresswell, K., Robertson, A., Huby, G., Avery, A., & Sheikh, A. (2011). The case study approach. *BMC Research Medical Methodology*, 11, 100.

- Delcea, C., & Cotfas, L. A. (2019). Increasing awareness in classroom evacuation situations using agent-based modeling. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 523, 1400-1418.
- Dimic, V., & Jevtic, R. (2023). APPLICATION OF SIMULATION MODELS FOR PREDICTING POPULATION EVACUATION IN TRAFFIC. *Economic and Social Development: Book of Proceedings*, 107-116.
- Ding, Y., Yang, L., Weng, F., Fu, Z., & Rao, P. (2015). Investigation of combined stairs elevators evacuation strategies for high rise buildings based on simulation. *Simulation modelling practice and theory*, 53, 60-73.
- Dulebenets, M. A., Abioye, O. F., Ozguven, E. E., Moses, R., Boot, W. R., & Sando, T. (2019). Development of statistical models for improving efficiency of emergency evacuation in areas with vulnerable population. *Reliability engineering & system safety*, 182, 233-249.
- ESHT, ESMAD, & Campus 2 P.Porto. (2022). Manual de Acolhimento Campus 2. In *Manual de Acolhimento Campus 2* (Issue 6, pp. 1–56). [https://inqueritos.esht.ipp.pt/app/pluginfile.php/85/mod_folder/content/0/MA — Manual Acolhimento Campus 2 2022-23.pdf?forcedownload=1](https://inqueritos.esht.ipp.pt/app/pluginfile.php/85/mod_folder/content/0/MA_Manual_Acolhimento_Campus_2_2022-23.pdf?forcedownload=1)
- ESHT, & P.Porto. (2016a). *ESHT*. <https://www.esht.ipp.pt/esht/campus2>
- ESHT, & P.Porto. (2016b). *ESHT*. <https://www.esht.ipp.pt/noticias/6-o-aniversario-da-esht>
- Feng, X., Gao, M., Zhou, Y., & Li, J. (2020, October). Simulation and optimization of emergency evacuation in gold museum based on AnyLogic. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1650, No. 3, p. 032080). IOP Publishing.
- Ferreira, L. P., Gómez, E. A., Lourido, G. C. P., Quintas, J. D., & Tjahjono, B. (2012). Analysis and optimisation of a network of closed-loop automobile assembly line using simulation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 59, 351-366.
- Forsberg, M., Kjellström, J., Frantzich, H., Mossberg, A., & Nilsson, D. (2019). The variation of pre-movement time in building evacuation. *Fire technology*, 55(6), 2491-2513.
- Gasparetto, F. C., Pilz, S. E., Pavan, R. C., & Costella, M. F. (2018). Computer Simulation and Fire Drill in an Educational Building. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 5(7), 264206.
- Google. (2023). *Google Maps*. <https://www.google.com/maps/place/Escola+Superior+de+Hotelaria+e+Turismo/@41.3666312,-8.7390291,418m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0xd244419adff667d:0xa96ce1608bd4d170!8m2!3d41.3664372!4d-8.739335!16s%2Fg%2F11zf5w0?authuser=0&entry=ttu>
- Gwynne, S., Galea, E. R., Owen, M., Lawrence, P. J., & Filippidis, L. (1999). A review of the methodologies used in the computer simulation of evacuation from the built environment. *Building and environment*, 34(6), 741-749.
- Han, F., Liu, L., & Zhang, Y. (2021). Pathfinder-based simulation and optimisation of personnel evacuation modelling of a shopping mall. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1757, No. 1, p. 012112). IOP Publishing.
- Hiyoshi, H., & Okabe, A. (2014). Evacuation plan assessment system for universities. *Transportation Research Procedia*, 2, 681-684.
- Jiang, S., Wang, C., Bimenyimana, S., Yap, J. B. H., Zhang, G., & Li, H. (2021). Standard operational procedures (SOP) for effective fire safety evacuation visualization in college dormitory buildings. *Journal of Visualization*, 24(6), 1207-1235.
- Joo, J., Kim, N., Wysk, R. A., Rothrock, L., Son, Y. J., Oh, Y. G., & Lee, S. (2013). Agent-based simulation

- of affordance-based human behaviors in emergency evacuation. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 32, 99-115.
- Kai, H., Xuwei, L., & Lei, X. (2020, November). Simulation of hotel fire and safe evacuation based on FDS and Pathfinder. In *2020 International Conference on Robots & Intelligent System (ICRIS)* (pp. 737-740). IEEE, Sanya, China.
- Kobes, M., Helsloot, I., De Vries, B., & Post, J. G. (2010). Building safety and human behaviour in fire: A literature review. *Fire Safety Journal*, 45(1), 1-11.
- Kulkarni, S. S., & Agashe, S. D. (2016, December). Study of intelligent evacuation systems of high-rise buildings in India-A review. In *2016 International Conference on Computing, Analytics and Security Trends (CAST)* (pp. 190-194). IEEE, Pune, India.
- Li, M. X., Zhu, S. B., Wang, J. H., & Zhou, Z. (2018). Research on fire safety evacuation in a university library in Nanjing. *Procedia engineering*, 211, 372-378.
- Li, Y., Zhang, Y., & Jiang, J. (2020). Study on emergency evacuation simulation and strategy of old dormitory building in college-A case study in China. *International Journal of Structural and Civil Engineering Research*, 9(3), 214-221.
- Liu, C., Liu, S., Zhang, J., Wang, L., Guo, X., Li, G., & Wang, W. (2023). An optimal design method of emergency evacuation space in the high-density community after earthquake based on evacuation simulation. *Natural Hazards*, 116(3), 2889-2915.
- Liu, H., Chen, H., Hong, R., Liu, H., & You, W. (2020). Mapping knowledge structure and research trends of emergency evacuation studies. *Safety Science*, 121, 348-361.
- Menghal, P. M., & Laxmi, A. J. (2012, January). Real time simulation: Recent progress & challenges. In *2012 International Conference on Power, Signals, Controls and Computation* (pp. 1-6). IEEE, Thrissur, India.
- Ministério da Administração Interna. (2008a). Decreto-Lei n.º 220/2008 de 12 de Novembro. *Diário Da República n.º 220/2008, Série I de 2008-11-12*, 7903-7922.
- Ministério da Administração Interna. (2008b). Portaria n.º 1532/2008, 29 de dezembro. *Diário Da República, 1ª série(250)*, 9050-9127. <https://dre.pt/dre/legislacao-consolidada/portaria/2008-135056016>
- Mourtzis, D. (2020). Simulation in the design and operation of manufacturing systems: state of the art and new trends. *International Journal of Production Research*, 58(7), 1927-1949.
- Peng, Y., Li, S. W., & Hu, Z. Z. (2019). A self-learning dynamic path planning method for evacuation in large public buildings based on neural networks. *Neurocomputing*, 365, 71-85.
- Pinheiro, J. (2012). Medidas de autoproteção de segurança contra incêndio em edifícios. *Autoridade Nacional de Protecção Civil*.
- Qin, J., Liu, C., & Huang, Q. (2020). Simulation on fire emergency evacuation in special subway station based on Pathfinder. *Case Studies in Thermal Engineering*, 21, 100677.
- Rahman, N. V., & Sinaga, L. A. (2019). Analysis of the evacuation route effectiveness based on the hotel's visitor evacuation speed (Case study: Grand Kanaya Hotel, Medan). *International Journal of Architecture and Urbanism*, 3(3), 283-297.
- Ronchi, E., Gwynne, S. M., Rein, G., Wadhvani, R., Intini, P., & Bergstedt, A. (2017). *e-Sanctuary: Open multi-physics framework for modelling wildfire urban evacuation*. Quincy: Fire Protection Research Foundation.
- Ronchi, E., & Nilsson, D. (2013). Fire evacuation in high-rise buildings: a review of human behaviour and modelling research. *Fire science reviews*, 2, 1-21.

- Rüppel, U., & Schatz, K. (2011). Designing a BIM-based serious game for fire safety evacuation simulations. *Advanced engineering informatics*, 25(4), 600-611.
- Saadatseresht, M., Mansourian, A., & Taleai, M. (2009). Evacuation planning using multiobjective evolutionary optimization approach. *European journal of operational research*, 198(1), 305-314.
- Shannon, R. E. (1998, December). Introduction to the art and science of simulation. In *1998 winter simulation conference. proceedings (cat. no. 98ch36274)* (Vol. 1, pp. 7-14). IEEE, Washington, DC, USA.
- Siikonen, M. L., & Hakonen, H. (2003). Efficient evacuation methods in tall buildings. *Elevator World*, 51(7), 78-83.
- Sorensen, J. H., & Sorensen, B. V. (2007). *Community Processes: Warning and Evacuation*. In: *Handbook of Disaster Research (H. Rodríguez, E. L. Quarantelli, & R. R. Dynes (eds.) (pp. 183–199)*. Springer, New York, NY.
- Sudte, J., & Patvichaichod, S. (2020). Evacuation time analysis of high-rise building by Using Pathfinder case study: Residential Occupancy. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 715, No. 1, p. 012007). IOP Publishing, Shanghai, China.
- Thornton, C., O’Konski, R., Hardeman, B., & Swenson, D. (2011). Pathfinder: an agent-based egress simulator. In *Pedestrian and evacuation dynamics* (pp. 889-892). Boston, MA: Springer US.
- Thunderhead Engineering (2023). Pathfinder User Manual (Version 2020-3). <https://support.thunderheadeng.com/docs/pathfinder/2020-3/user-manual/>
- Trivedi, A., & Singh, A. (2017). A hybrid multi-objective decision model for emergency shelter location-relocation projects using fuzzy analytic hierarchy process and goal programming approach. *International Journal of Project Management*, 35(5), 827-840.
- Ullrich, O., & Lückerath, D. (2017). An Introduction to Discrete-Event Modeling and Simulation. *Simul. Notes Eur.*, 27(1), 9-16.
- Wang, J., Zhu, W., Yin, M., & Zhong, S. (2021, June). Emergency Evacuation From a Teaching Building Based on The Social Force Model. In *2021 IEEE 11th International Conference on Electronics Information and Emergency Communication (ICEIEC) 2021 IEEE 11th International Conference on Electronics Information and Emergency Communication (ICEIEC)* (pp. 1-7). IEEE, Beijing, China.
- Wood, A. (2003). Pavements in the sky: the skybridge in tall buildings. *Arq: Architectural Research Quarterly*, 7(3-4), 325-332.
- Woodside, A. G., & Wilson, E. J. (2003). Case study research methods for theory building. *Journal of business & industrial marketing*, 18(6/7), 493-508.
- Wu, X. M., Wang, J., & Guo, X. H. (2015). Personnel Behavior and Modeling Simulation in the Emergency Evacuation. In *Proceedings of the 21st International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management 2014* (pp. 271-275). Atlantis Press, Paris.
- Xiao, M., Zhou, X., Han, Y., Bai, G., Wang, J., Li, X., & Sunya, S. (2021). Simulation and optimization of fire safety emergency evacuation in university library. *AIP Advances*, 11(6).
- Xiao, M., Zhou, X., Pan, X., Wang, Y., Wang, J., Li, X., Sun, Y., & Wang, Y. (2022). Simulation of emergency evacuation from construction site of prefabricated buildings. *Scientific Reports*, 12(1), 2732.
- Xinhai, Z., Shoushi, Z., Sichen, Z., & Kai, W. (2021, May). Research on Evacuation of Hotel Staff Based on Pathfinder. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 768, No. 1, p.

- 012171). IOP Publishing, Guangzhou, China.
- Xu, M., & Peng, D. (2020). Pyrosim-based numerical simulation of fire safety and evacuation behaviour of college buildings. *Int. J. Saf. Secur. Tour*, 10, 293-299.
- Xu, Z., Bai, Q., Shao, Y., Hu, A., & Dong, Z. (2022). A review on passenger emergency evacuation from multimodal transportation hubs. *Journal of traffic and transportation engineering (English edition)*.
- Yin, R. K. (2009). *Case study research: Design and methods* (Vol. 5). sage.
- Zhang, H., & Long, H. C. (2021, April). Simulation of evacuation in crowded places based on BIM and pathfinder. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1880, No. 1, p. 012010). IOP Publishing, Virtual Conference.
- Zhang, H., Miao, Z. H., Lv, H. N., & Leng, Z. L. (2022, June). Evacuation Simulation of Large Theater Based on Pyrosim and Pathfinder. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2289, No. 1, p. 012017). IOP Publishing, Online.
- Zheng, H., Zhang, S., Zhu, J., Zhu, Z., & Fang, X. (2022). Evacuation in Buildings Based on BIM: Taking a Fire in a University Library as an Example. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(23), 16254.
- Zou, H., Jiang, G., Cheng, B., & Wang, D. (2022). Design and Analysis of Hospital Throughput Maximization Algorithm under COVID-19 Pandemic. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2022.

