

## **Análise de estratégias de evacuação num hotel de 4 estrelas usando simulação**

**HUGO MIGUEL SANTOS COSTA**

Outubro de 2021

# ANÁLISE DE ESTRATÉGIAS DE EVACUAÇÃO NUM HOTEL DE 4 ESTRELAS USANDO SIMULAÇÃO

Hugo Miguel Santos Costa

outubro de 2021

Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Área de Especialização em Sistemas e Planeamento Industrial



Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de  
Tese/Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Candidato: Hugo Miguel Santos Costa, N° 1120407, 1120407@isep.ipp.pt

Orientação científica: Doutor Luís Carlos Ramos Nunes Pinto Ferreira, lpf@isep.ipp.pt

Coorientação científica: Doutor Paulo António da Silva Ávila, psa@isep.ipp.pt

Coorientação científica: Doutora Elga Cristina Vilela Viana Pereira da Costa,  
elgacosta@esht.ipp.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Área de Especialização em Sistemas e Planeamento Industrial

**2021**





## *Agradecimentos*

Ao diretor do Hotel Axis Porto, Dr. Simão Sá, queria agradecer a oportunidade, a disponibilidade e a ajuda concedida, por forma a que este trabalho fosse possível de realizar.

Manifesto veementemente a minha gratidão ao Professor Doutor Luís Pinto Ferreira, do Instituto Superior de Engenharia do Porto, por toda a orientação prestada, portadora de empenho e provida de muita sabedoria.

À Professora Doutora Elga Costa, da Escola Superior de Hotelaria e Turismo do Porto e ao Professor Doutor Paulo António da Silva Ávila, do Instituto Superior de Engenharia do Porto, agradeço por toda a coorientação e disponibilidade prestada durante o desenvolvimento desta dissertação.

Uma caminhada desta natureza só foi possível graças ao apoio incondicional da minha família, que todo o ânimo pacientemente me soube dar. Por isso devo um profundo obrigado ao meu pai, por toda a compreensão e motivação e aos meus dedicados avós por toda a dedicação e apoio que ao longo destes 27 anos tão bem me souberam dar.

A todos os meus amigos, que direta ou indiretamente foram parte integrante da presente dissertação, por toda a dedicação e amizade que me prestaram durante a minha vida académica, o meu sincero obrigado!

Por último, para a Catarina Pereira, por tudo o apoio demonstrado, um muito obrigado especial.



## *Resumo*

Tendo em consideração que o tempo total de evacuação é um fator fundamental para a segurança de qualquer edifício, de modo a garantir a segurança e proteção dos seus ocupantes, na ocorrência de desastres naturais ou de desastres provocados pelo homem, é essencial criar um plano de evacuação de emergência, que permita a evacuação em segurança de todos os ocupantes no menor tempo possível.

Por conseguinte, a presente dissertação teve como principal objetivo a análise e a melhoria do processo de evacuação de um hotel (hotel Axis Porto). Nesse sentido, foi utilizada a simulação computacional, com recurso ao *software* Pathfinder, por forma a que fosse possível criar um modelo de simulação que permitisse estudar e analisar diferentes estratégias de evacuação, encontrar o menor tempo total de evacuação e encontrar possíveis pontos de estrangulamento e de congestionamento. Foram definidas seis estratégias de evacuação, as quais se baseiam na utilização de determinadas saídas de evacuação, na orientação dos ocupantes em direção às saídas de emergência e no estado de funcionamento dos elevadores. Para cada estratégia foram estudados vários cenários por forma a perceber-se o impacto dos mesmo na evacuação dos ocupantes.

Os resultados obtidos nas simulações permitiram concluir que a evacuação mais eficiente (com menor tempo total de evacuação) foi obtida nas estratégias 4 e 6 no cenário com recurso aos elevadores e na estratégia 5, através da saída central e do spa, com os elevadores em funcionamento, apresentando todas elas um tempo total de evacuação muito semelhante.

Aferimos, assim, que o menor tempo total de evacuação é encontrado na estratégia 4, no cenário onde os elevadores estão em funcionamento, sendo, no máximo, um segundo e meio inferior em relação às estratégias supramencionadas (5 e 6).

## *Palavras-Chave*

Evacuação, Estratégias de Evacuação, Hotel Axis Porto, Tempo Total de Evacuação, Simulação Computacional, *Software* Pathfinder.



## *Abstract*

Considering that the total evacuation time is a fundamental factor for the safety of any building, in order to guarantee the safety and protection of its occupants, in the event of natural disasters or in a man-made disasters, it is essential to create an emergency evacuation plan, which allows the safe evacuation of all occupants in the shortest time possible.

Therefore, the main objective of this dissertation is the analysis and improvement of the evacuation process of a hotel (hotel Axis Porto). Therefore, it was used the Pathfinder software to create a simulation model that would allow the study and analysis of different evacuation strategies, find the shortest total evacuation time and find possible choke and congestion points. Six evacuation strategies have been defined, which are based on the use of certain evacuation exits, on the orientation of occupants towards the emergency exits and on the operating status of the elevators. For each strategy, were studied several scenarios in order to understand their impact on the evacuation.

The results obtained in the simulations allowed concluding, that the most efficient evacuation (with the shortest total evacuation time) was obtained in strategies 4 and 6, in the scenario with the elevators in operation, and in strategy 5, in the scenario with only the central and spa exits available and with the elevators in operation. All of them have a very similar total evacuation time, however, the lowest total evacuation time is found in strategy 4, in the scenario where the elevators are in operation, being at most a second and a half less than in strategies 5 and 6 mentioned above.

## *Keywords*

Evacuation, Evacuation Strategies, Hotel Axis Porto, Total Evacuation Time, Computer Simulation, Pathfinder Software.



# Índice

AGRADECIMENTOS .....	I
RESUMO.....	III
PALAVRAS-CHAVE.....	III
ABSTRACT .....	V
KEYWORDS .....	V
ÍNDICE.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IX
ÍNDICE DE TABELAS.....	XVII
ACRÓNIMOS.....	XIX
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 ENQUADRAMENTO DO TRABALHO.....	1
1.2 OBJETIVOS .....	2
1.3 METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO .....	2
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	3
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>5</b>
2.1 SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO .....	5
2.1.1 <i>Vantagens e desvantagens da simulação</i> .....	8
2.2 EVACUAÇÃO DE EDIFÍCIOS – CASOS DE ESTUDO.....	9
2.3 EVACUAÇÃO DE EDIFÍCIOS.....	16
2.3.1 <i>Componentes e estratégias de evacuação de edifícios</i> .....	18
2.3.2 <i>Fases do processo de evacuação e tempos de evacuação</i> .....	21
2.3.3 <i>Fatores que influenciam a evacuação</i> .....	24
2.4 EVACUAÇÃO DE EDIFÍCIOS EM PORTUGAL – LEGISLAÇÃO .....	27
2.5 SOFTWARES DE APOIO À EVACUAÇÃO.....	29
2.5.1 <i>Software Pathfinder</i> .....	30
<b>3. ESTRATÉGIAS DE EVACUAÇÃO NUM HOTEL DE 4 ESTRELAS .....</b>	<b>35</b>
3.1 CONFIGURAÇÃO DO HOTEL DE 4 ESTRELAS EM ANÁLISE .....	35
3.1.1 <i>Piso 0</i> .....	37
3.1.2 <i>Piso 1</i> .....	42
3.1.3 <i>Piso 2 ao piso 6</i> .....	45
3.1.4 <i>Piso 7 e piso 8</i> .....	48
3.1.5 <i>Piso 9</i> .....	51
3.2 ESTUDO DE SIMULAÇÃO.....	53



3.2.1	<i>Interface gráfica e animação</i> .....	53
3.2.2	<i>Validação do sistema de apoio à decisão desenvolvido</i> .....	65
3.2.3	<i>Análise de estratégias de evacuação</i> .....	66
3.2.3.1	<i>Estratégia 1 – Cenário com 3 saídas do hotel disponíveis, sem orientação (com e sem elevadores)</i> .....	68
3.2.3.2	<i>Estratégia 2 – Cenários com 2 saídas do hotel disponíveis, sem orientação (com e sem elevadores)</i> .....	71
3.2.3.3	<i>Estratégia 3 – Cenários com 1 saída do hotel disponível, sem orientação (com e sem elevadores)</i> .....	77
3.2.3.4	<i>Estratégia 4 – Cenário com 3 saídas do hotel disponíveis, com orientação (com e sem elevadores)</i> .....	84
3.2.3.5	<i>Estratégia 5 – Cenários com 2 saídas do hotel disponíveis, com orientação (com e sem elevadores)</i> .....	92
3.2.3.6	<i>Estratégia 6 – Cenários com 1 saída do hotel disponível, com orientação (com e sem elevadores)</i> .....	98
3.3	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	105
<b>4.</b>	<b>CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>107</b>
4.1	<b>PRINCIPAIS CONTRIBUTOS DO TRABALHO</b> .....	108
4.2	<b>TRABALHOS FUTUROS</b> .....	108
	<b>REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS</b> .....	<b>111</b>

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b>	Cronograma de evacuação de edifícios (Ruggiero Lovreglio, 2018).	24
<b>Figura 2</b>	Vista aérea e localização do Hotel Axis (Google, 2021).	35
<b>Figura 3</b>	Hotel Axis.	36
<b>Figura 4</b>	Planta de emergência Hotel Axis – Piso 0.	37
<b>Figura 5</b>	Porta de entrada/saída principal do hotel (vista do exterior do hotel).	38
<b>Figura 6</b>	Recepção e <i>hall</i> do hotel.	38
<b>Figura 7</b>	Bar do hotel.	39
<b>Figura 8</b>	Porta de saída de emergência localizada junto ao bar.	39
<b>Figura 9</b>	Escadaria de acesso ao piso 1 e entrada do restaurante.	40
<b>Figura 10</b>	Restaurante do hotel.	40
<b>Figura 11</b>	Corredor de acesso à cozinha do hotel.	41
<b>Figura 12</b>	Cozinha do hotel.	41
<b>Figura 13</b>	Planta de emergência do Hotel Axis – Piso 1.	42
<b>Figura 14</b>	Escadas exclusivas de conexão entre o piso 0 e 1.	43
<b>Figura 15</b>	Vista para uma parte do piso 1.	43
<b>Figura 16</b>	Porta de acesso à área da piscina, sauna, jacuzzi e banho tuco.	44
<b>Figura 17</b>	Área da piscina, sauna, jacuzzi e banho tuco.	44
<b>Figura 18</b>	Escadas de acesso ao exterior do edifício localizadas após a área de recepção do Spa.	45
<b>Figura 19</b>	Porta de acesso ao exterior do hotel apenas acessível pelo Spa.	45

<b>Figura 20</b>	Planta de emergência do Hotel Axis – Piso 2.	46
<b>Figura 21</b>	Corredor do piso 2.	46
<b>Figura 22</b>	Blocos autónomos no corredor do piso 2 com a indicação da saída de emergência.	47
<b>Figura 23</b>	Quarto do piso 2.	47
<b>Figura 24</b>	Suite júnior do piso 2.	48
<b>Figura 25</b>	Sala da suite júnior do piso 2.	48
<b>Figura 26</b>	Planta de emergência do Hotel Axis – Piso 7.	49
<b>Figura 27</b>	Suite do piso 7.	50
<b>Figura 28</b>	Sala da suite do piso 7.	50
<b>Figura 29</b>	Casa de banho da suite do piso 7.	50
<b>Figura 30</b>	Planta de emergência do Hotel Axis – Piso 9.	51
<b>Figura 31</b>	Suite presidencial do piso 9.	52
<b>Figura 32</b>	Sala da suite presidencial do piso 9.	52
<b>Figura 33</b>	Casa de banho da suite presidencial do piso 9.	52
<b>Figura 34</b>	Interface gráfica de entrada no Pathfinder.	53
<b>Figura 35</b>	Vista 3D do modelo de simulação do hotel.	54
<b>Figura 36</b>	Criar uma área retangular no Pathfinder.	54
<b>Figura 37</b>	Criar uma área poligonal no Pathfinder.	54
<b>Figura 38</b>	Criar uma porta no Pathfinder.	55
<b>Figura 39</b>	Configurar parâmetros das portas no Pathfinder.	55
<b>Figura 40</b>	Vista 2D do piso 0 do modelo de simulação do hotel.	55

<b>Figura 41</b>	Vista 3D do piso 0 e piso 1 do modelo de simulação do hotel.	56
<b>Figura 42</b>	Configurar os parâmetros das escadas no Pathfinder.	56
<b>Figura 43</b>	Elevadores do modelo de simulação do hotel.	57
<b>Figura 44</b>	Criar elevadores no Pathfinder.	57
<b>Figura 45</b>	Piso 2 do modelo de simulação do hotel.	58
<b>Figura 46</b>	Piso 7 do modelo de simulação do hotel.	58
<b>Figura 47</b>	Piso 9 do modelo de simulação do hotel.	59
<b>Figura 48</b>	Adicionar ocupantes a um grupo no Pathfinder.	60
<b>Figura 49</b>	Configurar parâmetros dos grupos no Pathfinder.	60
<b>Figura 50</b>	Criar perfis no Pathfinder.	61
<b>Figura 51</b>	Configurar perfis no Pathfinder.	61
<b>Figura 52</b>	Criar comportamentos no Pathfinder.	62
<b>Figura 53</b>	Selecionar o tipo de comportamento no Pathfinder.	62
<b>Figura 54</b>	Associar os ocupantes a perfis e comportamentos Pathfinder.	63
<b>Figura 55</b>	Visualizar os ocupantes como pessoas no Pathfinder.	63
<b>Figura 56</b>	Definir o modo <i>Steering</i> no Pathfinder.	64
<b>Figura 57</b>	Visualização 3D dos resultados da simulação.	64
<b>Figura 58</b>	Configurações do posicionamento, prioridades e piso de descarga dos elevadores.	67
<b>Figura 59</b>	Comportamento atribuído aos ocupantes na estratégia 1.	68
<b>Figura 60</b>	Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação sem elevadores (estratégia 1).	69

<b>Figura 61</b>	Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída referente à simulação sem elevadores (estratégia 1).	69
<b>Figura 62</b>	Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação com elevadores (estratégia 1).	70
<b>Figura 63</b>	Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída referente à simulação com elevadores (estratégia 1).	70
<b>Figura 64</b>	Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação sem elevadores com a saída central e lateral disponíveis (estratégia 2).	72
<b>Figura 65</b>	Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída central e lateral referente à simulação sem elevadores (estratégia 2).	73
<b>Figura 66</b>	Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação sem elevadores com a saída central e do Spa disponíveis (estratégia 2).	73
<b>Figura 67</b>	Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída central e do Spa referente à simulação sem elevadores (estratégia 2).	74
<b>Figura 68</b>	Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação sem elevadores com a saída lateral e do Spa disponíveis (estratégia 2).	74
<b>Figura 69</b>	Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída lateral e do Spa referente à simulação sem elevadores (estratégia 2).	74
<b>Figura 70</b>	Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação com elevadores com a saída central e lateral disponíveis (estratégia 2).	75
<b>Figura 71</b>	Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída central e lateral referente à simulação com elevadores (estratégia 2).	75
<b>Figura 72</b>	Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação com elevadores com a saída central e do Spa disponíveis (estratégia 2).	76
<b>Figura 73</b>	Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída central e do Spa referente à simulação com elevadores (estratégia 2).	76

<b>Figura 74</b>	Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação com elevadores com a saída lateral e do Spa disponíveis (estratégia 2).	76
<b>Figura 75</b>	Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída lateral e do Spa referente à simulação com elevadores (estratégia 2).	77
<b>Figura 76</b>	Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação sem elevadores com a saída central disponível (estratégia 3).	79
<b>Figura 77</b>	Gráfico do fluxo de pessoas na porta de saída central referente à simulação sem elevadores (estratégia 3).	79
<b>Figura 78</b>	Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação sem elevadores com a saída lateral disponível (estratégia 3).	80
<b>Figura 79</b>	Gráfico do fluxo de pessoas na porta de saída lateral referente à simulação sem elevadores (estratégia 3).	80
<b>Figura 80</b>	Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação sem elevadores com a saída do Spa disponível (estratégia 3).	80
<b>Figura 81</b>	Gráfico do fluxo de pessoas na porta de saída do Spa referente à simulação sem elevadores (estratégia 3).	81
<b>Figura 82</b>	Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação com elevadores com a saída central disponível (estratégia 3).	82
<b>Figura 83</b>	Gráfico do fluxo de pessoas na porta de saída central referente à simulação com elevadores (estratégia 3).	82
<b>Figura 84</b>	Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação com elevadores com a saída lateral disponível (estratégia 3).	82
<b>Figura 85</b>	Gráfico do fluxo de pessoas na porta de saída lateral referente à simulação com elevadores (estratégia 3).	83
<b>Figura 86</b>	Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação com elevadores com a saída do Spa disponível (estratégia 3).	83

<b>Figura 87</b>	Gráfico do fluxo de pessoas na porta de saída do Spa referente à simulação com elevadores (estratégia 3).	83
<b>Figura 88</b>	Restrição de portas no perfil “usar escadas laterais”.	85
<b>Figura 89</b>	Restrição do uso da escadaria lateral no perfil “Default”.	86
<b>Figura 90</b>	Ocupantes associados ao perfil “Default”.	86
<b>Figura 91</b>	Ocupantes associados ao perfil “usar escadas laterais”.	87
<b>Figura 92</b>	Comportamento de todos os ocupantes no cenário sem elevador.	87
<b>Figura 93</b>	Restrição do uso de elevadores no perfil “Default”.	88
<b>Figura 94</b>	Restrição do uso de elevadores no perfil “usar escadas laterais”.	88
<b>Figura 95</b>	Ocupantes do piso 9 atribuídos ao perfil “usar elevador” e ao comportamento “ir para elevador”.	89
<b>Figura 96</b>	Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação sem elevadores (estratégia 4).	90
<b>Figura 97</b>	Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída referente à simulação sem elevadores (estratégia 4).	90
<b>Figura 98</b>	Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação com elevadores (estratégia 4).	91
<b>Figura 99</b>	Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída referente à simulação com elevadores (estratégia 4).	91
<b>Figura 100</b>	Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação sem elevadores com a saída central e lateral disponíveis (estratégia 5).	93
<b>Figura 101</b>	Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída central e lateral referente à simulação sem elevadores (estratégia 5).	93
<b>Figura 102</b>	Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação sem elevadores com a saída central e do Spa disponíveis (estratégia 5).	94

<b>Figura 103</b> Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída central e do Spa referente à simulação sem elevadores (estratégia 5).	94
<b>Figura 104</b> Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação sem elevadores com a saída lateral e do Spa disponíveis (estratégia 5).	95
<b>Figura 105</b> Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída lateral e do Spa referente à simulação sem elevadores (estratégia 5).	95
<b>Figura 106</b> Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação com elevadores com a saída central e lateral disponíveis (estratégia 5).	96
<b>Figura 107</b> Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída central e lateral referente à simulação com elevadores (estratégia 5).	96
<b>Figura 108</b> Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação com elevadores com a saída central e do Spa disponíveis (estratégia 5).	97
<b>Figura 109</b> Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída central e do Spa referente à simulação com elevadores (estratégia 5).	97
<b>Figura 110</b> Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação com elevadores com a saída lateral e do Spa disponíveis (estratégia 5).	97
<b>Figura 111</b> Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída lateral e do Spa referente à simulação com elevadores (estratégia 5).	98
<b>Figura 112</b> Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação sem elevadores com a saída central disponível (estratégia 6).	100
<b>Figura 113</b> Gráfico do fluxo de pessoas na porta de saída central referente à simulação sem elevadores (estratégia 6).	100
<b>Figura 114</b> Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação sem elevadores com a saída lateral disponível (estratégia 6).	100
<b>Figura 115</b> Gráfico do fluxo de pessoas na porta de saída lateral referente à simulação sem elevadores (estratégia 6).	101



<b>Figura 116</b> Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação sem elevadores com a saída do Spa disponível (estratégia 6).	101
<b>Figura 117</b> Gráfico do fluxo de pessoas na porta de saída do Spa referente à simulação sem elevadores (estratégia 6).	101
<b>Figura 118</b> Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação com elevadores com a saída central disponível (estratégia 6).	102
<b>Figura 119</b> Gráfico do fluxo de pessoas na porta de saída central referente à simulação com elevadores (estratégia 6).	102
<b>Figura 120</b> Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação com elevadores com a saída lateral disponível (estratégia 6).	103
<b>Figura 121</b> Gráfico do fluxo de pessoas na porta de saída lateral referente à simulação com elevadores (estratégia 6).	103
<b>Figura 122</b> Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação com elevadores com a saída do Spa disponível (estratégia 6).	103
<b>Figura 123</b> Gráfico do fluxo de pessoas na porta de saída do Spa referente à simulação com elevadores (estratégia 6).	104

## *Índice de Tabelas*

<b>Tabela 1</b>	Referências bibliográficas na área de simulação de evacuação de pessoas.	9
<b>Tabela 2</b>	Estimação de tempos de pré-movimentação (CFPA Europe, 2009).	22
<b>Tabela 3</b>	Comparação dos tempos de evacuação (simulação real e computacional).	65
<b>Tabela 4</b>	Tempos de evacuação resultantes da simulação da estratégia 1 (com e sem elevador).	68
<b>Tabela 5</b>	Tempos de evacuação resultantes da simulação da estratégia 2 (com e sem elevador).	71
<b>Tabela 6</b>	Tempos de evacuação resultantes da simulação da estratégia 3 (com e sem elevador).	78
<b>Tabela 7</b>	Tempos de evacuação resultantes da simulação da estratégia 4 (com e sem elevador).	89
<b>Tabela 8</b>	Tempos de evacuação resultantes da simulação da estratégia 5 (com e sem elevador).	92
<b>Tabela 9</b>	Tempos de evacuação resultantes da simulação da estratégia 6 (com e sem elevador).	99
<b>Tabela 10</b>	Tempo total de evacuação do melhor cenário de cada estratégia.	106



## *Acrónimos*

ASET	–	Available Safe Egress Time
RSET	–	Required Safe Egress Time
SFPE	–	Society Of Fire Protection Engineers
TET	–	Total Evacuation Time
UT	–	Utilização-Tipo



# 1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo é realizada a introdução do tema do trabalho desenvolvido, sendo abordado o seu enquadramento, objetivos, metodologias e, por fim, a sua estrutura.

## 1.1 ENQUADRAMENTO DO TRABALHO

A ocorrência de desastres naturais ou de desastres provocados pelo homem são dois elementos fundamentais que podem influenciar negativamente a segurança de qualquer edifício. Estes devem garantir a segurança e proteção dos seus ocupantes e, como tal, devem ser adotadas e desenvolvidas medidas que visem diminuir o impacto de possíveis ameaças.

A evacuação de emergência surge como uma das principais soluções para reduzir o impacto de ameaças naturais ou de ameaças provocadas pelo homem nas pessoas presentes nos edifícios (Ruggiero Lovreglio, 2018).

A definição de um plano de evacuação é complexo, sendo necessário compreender e estudar vários aspetos, entre eles, as características do edifício e as características físicas e psicológicas dos ocupantes (Jevtić, 2015). Com isto, torna-se importante a utilização de ferramentas de apoio à decisão, como por exemplo as simulações computacionais, que permitam estudar com mais facilidade o problema em questão (Asgary & Yang, 2016; L. P. Ferreira, Ares, et al., 2012).

A simulação é uma ferramenta que permite criar um modelo computacional representativo do sistema real em análise, que possibilita a previsão e análise do desempenho e comportamentos do sistema (L. P. Ferreira, Gómez, et al., 2012).

O trabalho aqui apresentado enquadra-se no âmbito da unidade curricular de Tese e Dissertação (TEDI) do Curso de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, no ramo de Sistemas e Planeamento Industrial.

## **1.2 OBJETIVOS**

Este trabalho tem como objetivo a análise e a melhoria do processo de evacuação de um hotel. Para isso, foi desenvolvido um modelo de simulação, utilizando o *software* de simulação Pathfinder, que permita ao utilizador simular a evacuação do hotel, tendo como suporte os seguintes pontos:

- Identificar e estudar as diferentes particularidades da evacuação de edifícios;
- Desenvolvimento de uma ferramenta que permita testar e analisar a evacuação de um hotel;
- Identificar possíveis pontos de estrangulamento e congestionamento do processo de evacuação;
- Análise de resultados.

## **1.3 METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO**

A metodologia de investigação utilizada para a elaboração da dissertação foi o Caso de Estudo. Esta metodologia consiste numa investigação detalhada de uma ou mais organizações, ou grupos dentro de organizações, de modo a fornecer uma análise do contexto e processos envolvidos no fenómeno em estudo (Meyer, 2001). O Caso Estudo ajuda a explicar o processo e os resultados de um fenómeno através da observação, reconstrução e análise dos casos em investigação (Zainal, 2007). Segundo (Saunders et al., 2009), o Caso Estudo é uma estratégia para a realização de uma investigação que envolve uma investigação empírica de um determinado fenómeno contemporâneo no seu contexto de vida real.

Esta metodologia passa por cinco fases cruciais (Crowe et al., 2011):

- Definição do Caso – Nesta fase são formuladas perguntas de investigação, baseadas na literatura existente e de uma apreciação prévia dos problemas teóricos, importantes para uma adequada e sucinta definição do caso;
- Selecionar o Caso – A seleção do caso a estudar depende do propósito da pesquisa, como tal, nesta fase é realizada a seleção do caso de acordo com a categoria em que está inserido (intrínseco, instrumental ou coletivo). Os casos de estudo intrínsecos constituem o próprio objeto da pesquisa, gerando interesse para os investigadores devido à sua especificidade. Por outro lado, os casos de estudo instrumentais, são desenvolvidos para aprimorar o conhecimento ou redefinir um determinado problema, desta forma, é importante para o investigador escolher um caso que permita estudar um problema ou fenómeno e não um caso com elevada singularidade. Por fim, nos casos de estudo coletivos, é realizada uma seleção cuidada de vários casos de estudo, por forma a serem comparados para melhorar o conhecimento do problema/fenómeno em questão;
- Recolher dados – De modo a desenvolver uma compreensão completa do caso, é realizada uma recolha de dados de diversas fontes (triangulação de dados) aumentando assim a validade interna do estudo;
- Analisar e interpretar os dados – Os dados devem ser analisados, e organizados por forma a fazerem sentido e a oferecerem uma interpretação coerente das diversas fontes de dados;
- Reportar os resultados – Nesta última fase são fornecidas as informações contextuais suficientes para compreender o processo que foi seguido e como foram alcançados as conclusões e os resultados.

## **1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO**

A presente dissertação está estruturada em quatro capítulos. Nos parágrafos seguintes, é feito um breve resumo do que é abordado em cada capítulo.

No Capítulo 1 é descrito o enquadramento do trabalho, são apresentados os objetivos a atingir e a metodologia utilizada para a elaboração da dissertação.



No capítulo 2 é apresentada uma revisão da literatura, sendo o foco deste capítulo enquadrar a simulação como ferramenta de apoio à decisão, apresentar aspectos importantes sobre a evacuação de edifícios e expor alguns estudos relacionados com o tema do trabalho.

No capítulo 3 é descrita a configuração do hotel estudado para o presente trabalho, o desenvolvimento da ferramenta proposta, a construção do modelo de simulação, as estratégias estudadas e os resultados obtidos.

No Capítulo 4 são apresentadas as principais conclusões e as propostas de possíveis trabalhos futuros.

Após estes capítulos, são apresentadas as referências bibliográficas que serviram de base para o desenvolvimento deste trabalho.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO

A simulação pode ser definida como a realização de experiências com um modelo, onde o modelo imita comportamentos de interesse de um sistema real (Carmo-Silva et al., 2020; L.P. Ferreira et al., 2012c; White & Ingalls, 2020). Segundo (Law, 2019), a simulação é um substituto da realização de experiências com o sistema (existente ou proposto), uma vez que estas experiências com o sistema podem não ser possíveis de ser realizadas e normalmente envolvem elevados custos e recursos.

A simulação é uma ferramenta que possibilita a exploração de problemas do mundo real através de modelos de simulação. Os modelos podem ser físicos ou computacionais, sendo utilizados para realizar experiências gerando observações nos comportamentos de interesse do sistema, com a finalidade de entender, sumarizar e generalizar esses comportamentos (L. P. Ferreira et al., 2011, 2013; Hollocks, 2017; White & Ingalls, 2020).

Segundo (L. P. Ferreira et al., 2012b), a simulação pode ser considerada como o processo de construção de um modelo representativo de um sistema real no qual são realizadas

experiências, com a finalidade de melhor compreender o seu comportamento e avaliar o impacto de estratégias operacionais alternativas.

A simulação é usada de modo a prever o desempenho do sistema, a configuração do sistema e para formular políticas. Os modelos de simulação permitem realizar experiências a um custo reduzido, num menor período temporal e com menos risco associado, comparando com a realização de experiências num sistema real (Barton, 2020; Leathrum et al., 2020).

O modelo de simulação pode ser definido como uma entidade que é usada para representar uma outra entidade para um determinado objetivo. Os modelos são geralmente abstrações simplificadas, que contêm apenas o âmbito e o nível de detalhe suficiente para satisfazer os objetivos do estudo. Estes modelos podem também ser usados para estudar sistemas que apenas existem em conceito (Choi & Kang, 2013; Sargent, 2020; White & Ingalls, 2020).

A construção do modelo de simulação é o processo de criar uma representação do sistema real, por forma a realizar os objetivos propostos. Este modelo deve ser verificado de modo a assegurar que realiza aquilo que foi idealizado (Sturrock, 2019).

O processo de tomada de decisão depende de como conseguimos prever o impacto de uma mudança. Esta previsão envolve incertezas, que podem ser definidas como um conhecimento limitado sobre os eventos futuros, correntes e passados. Com isto, a incerteza é uma lacuna para as pessoas encarregues da tomada de decisão, a qual se situa entre o conhecimento disponível e o conhecimento que necessitavam, para efetuar a melhor decisão (Marchau et al., 2019).

O processo de tomada de decisão baseado na simulação permite a modelação e a análise do desempenho de sistemas e processos complexos. A simulação permite que o utilizador desenvolva um modelo com base num sistema real, assim como prever ações resultantes dos dados recolhidos, prever áreas que tenham potencial para melhorar e avaliar o impacto de diferentes tipos de estratégias (L.P. Ferreira et al., 2010; Luís Pinto Ferreira, 2003; Sá et al., 2021, 2022; Silva et al., 2021).

Segundo (L. P. Ferreira et al., 2012a), a simulação é uma das ferramentas de suporte no processo de tomada de decisão que permite a projeção e a análise de desempenho em sistemas e processos complexos.

(Schumacher & Kohl, 2020) afirmam que a simulação permite dar suporte as pessoas em processos de tomada de decisão, devido a conseguir analisar mais alternativas num período de tempo mais reduzido.

A simulação pode ser considerada como o processo de estudar os comportamentos dos sistemas, através da representação num computador, da forma como estes sistemas operam no mundo real (muitas vezes referida como simulação computacional). O principal objetivo dos estudos de simulação, é providenciar suporte às decisões por forma a melhorar um determinado sistema de interesse, consoante certas medidas de desempenho (Lazarova-Molnar & Li, 2019).

A simulação pode ser usada como ferramenta pró-ativa nos processos de tomada de decisão, por exemplo, testar cenários alternativos, determinar certas medidas de desempenho e também para visualizar a animação de fluxos logísticos. Desta forma é possível obter um maior conhecimento sobre o impacto de mudanças no sistema, sendo também uma forma de melhor identificar, compreender e mitigar os riscos identificados através da realização de experiências com uma grande variedade de cenários (Rodriguez & Wolski, 2019; Vieira et al., 2019).

A simulação é uma ferramenta bastante utilizada, em casos de estudo de uma grande variedade de áreas, tais como (Barker & Zupick, 2017; Ullrich & Lückerrath, 2017):

- Comunicações;
- Mitigação de desastres;
- Saúde;
- Logística e gestão da cadeia de abastecimento;
- Trânsito.

Segundo (Ullrich & Lückerrath, 2017), a simulação é imensamente utilizada na prevenção e redução de desastres. Esta ferramenta permite analisar e avaliar cenários, estratégias e prioridades de evacuação com o objetivo de reduzir o tempo de evacuação,

identificando quais os fatores limitantes do processo e os possíveis pontos de estrangulamento.

### **2.1.1 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA SIMULAÇÃO**

A simulação apresenta vantagens e desvantagens relacionadas com o seu uso, que deverão ser tidas em consideração, para determinar se a sua utilização numa determinada situação é apropriada ou não.

De seguida serão enumeradas algumas vantagens/benefícios do uso da simulação (Ares et al., 2012; Katharina Fahl, 2017; Sokolowski & Banks, 2011):

- Possibilidade de estudar e escolher corretamente uma alteração do sistema, uma vez que, é possível testar todos os aspetos da proposta de alteração sem elevados custos;
- Possibilidade de aumentar ou diminuir o tempo de simulação. As alterações do sistema podem ser simuladas em poucos minutos;
- Explorar possibilidades em contextos como as políticas, procedimentos operacionais e métodos sem perturbar o sistema real;
- Possibilidade de perceber como é que os sistemas complexos operam, desta forma é possível tomar decisões mais acertadas;
- Permite testar hipóteses explicativas, de como ou porquê, determinado fenómeno ocorre no sistema;
- Permite entender a interação entre as variáveis que constituem sistemas complexos, sendo desta forma possível diagnosticar problemas;
- Permite alterar a configuração do sistema por forma a obter os resultados exigidos;
- A simulação permite a formação de novos colaboradores com menos custos associados, devido a permitir tomar as decisões no modelo de simulação antes de estes realizarem operações no sistema real, ganhando desta forma experiência, sem interromper/perturbar o funcionamento do sistema real.

Por outro lado, e como dito anteriormente, esta ferramenta apresenta alguns inconvenientes. De seguida serão enumeradas algumas desvantagens do uso da simulação (Katharina Fahl, 2017; Sokolowski & Banks, 2011):

- Para desenvolver os modelos de simulação é necessário ter uma formação e treino especial, por forma a obter conhecimentos e experiência adequada;
- A simulação é usada em alguns casos onde é possível, e por vez preferencial, obter uma solução analítica para o problema;
- Os resultados da simulação podem ser difíceis de interpretar;
- A simulação não fornece soluções ótimas para os problemas em estudo, ao invés disso, permite analisar/avaliar o comportamento do sistema mediante determinadas condições especificadas pelo analista;
- A modelação e a respetiva análise da simulação podem consumir muito tempo e serem dispendiosas.

## 2.2 EVACUAÇÃO DE EDIFÍCIOS – CASOS DE ESTUDO

Na Tabela 1 apresentam-se alguns estudos realizados na área de evacuação de pessoas. Estes estudos utilizam a simulação como ferramenta de apoio à decisão, por forma a encontrar a melhor solução para os problemas descritos.

**Tabela 1** Referências bibliográficas na área de simulação de evacuação de pessoas.

Referências	Descrição da Simulação
(Jevtić, 2015)	Este trabalho teve como objetivo realizar e analisar a simulação de uma possível evacuação do hotel Radon em Niška Banja (Sérvia). O hotel é um complexo de saúde específico, com pacientes com diferentes tipos de doenças, o qual pertence ao instituto de Niška Banja. Por forma a realizar o estudo, foi elaborado um modelo de simulação usando o <i>software</i> Pathfinder, o qual permitiu verificar, que para as condições de evacuação presumidas, é possível realizar a evacuação de todas as pessoas com sucesso e sem congestionamentos.

<p>(Choochart &amp; Thipyopas, 2020)</p>	<p>O objetivo deste estudo consiste em simular a evacuação de passageiros de um avião Airbus A330-300, de modo a encontrar o formato de evacuação mais eficiente. Para tal, foi necessário definir diversos parâmetros do avião e dos possíveis passageiros, por forma a criar o modelo de simulação no <i>software</i> Pathfinder. Com isto foram criados dois cenários de evacuação. O primeiro permite a evacuação utilizando todas as portas de saída, enquanto o segundo tem uma porta na lateral esquerda do avião indisponível. Com o objetivo de verificar qual a melhor forma de evacuar nestes dois cenários, foram simulados quatro formatos de evacuação em cada cenário. Os resultados da simulação permitiram verificar que o melhor formato de evacuação, para os dois cenários, seria evacuar livremente. Comparando os dois cenários, verificou-se que com uma porta de saída indisponível, o tempo de evacuação aumenta em relação ao cenário de evacuação com todas as portas de saída disponíveis.</p>
<p>(Q. Chen et al., 2020)</p>	<p>Este caso de estudo aborda a evacuação pedestre, da estação ferroviária Oeste de Pequim (China), com recurso à simulação. Para este efeito, foi usado o <i>software</i> PTV Vissim, onde foi criado, com recurso ao módulo PTV Viswalk, um modelo de simulação da interação entre os pedestres e o meio envolvente. Com isto, foi possível verificar processos reais de evacuação e identificar possíveis congestionamentos.</p>
<p>(Y. Chen et al., 2020)</p>	<p>Este trabalho centra-se em estudar uma simulação de evacuação de pessoas, em caso de incêndio, da estação de metropolitano Haicang Avenue, em Xiamen (China). Esta estação tem a particularidade de ser a conexão inicial de uma ponte sobre o mar. De modo a realizar a simulação, foi desenvolvido o modelo da estação de metropolitano e definido os devidos parâmetros no <i>software</i> Pathfinder. Foram igualmente definidos quatro cenários, com a finalidade de determinar o impacto de alguns fatores no tempo total de evacuação. Foi concluído que o aumento da dispersão das pessoas aumenta o tempo de evacuação, sendo ainda detetados alguns congestionamentos, junto das escadarias de acesso às saídas 2 e 4, devido a estas saídas estarem próximas do controlo de acesso à plataforma.</p>
<p>(Hassannayebi et al., 2020)</p>	<p>Este estudo aborda a simulação de evacuação de pessoas, de uma estação de metro da linha ferroviária Mashhad Urban Railway, no Irão. A estação está localizada numa interseção da linha de metro dois, três e quatro da cidade Mashhad. Por forma a realizar a simulação, foi utilizado o <i>software</i> Pedestrian Dynamics, onde foi desenvolvido o modelo da estação de metro. Este software de simulação utiliza a tecnologia <i>Explicit Corridor Map</i>, por forma a indicar os espaços que podem ser percorridos pelas pessoas. Com o modelo da estação definido, foram criados dois cenários de evacuação, sendo o primeiro um cenário de evacuação em caso de ocorrência de incêndio na estação e o segundo a evacuação em caso de falha do metro no túnel de acesso à estação. Os resultados da simulação permitiram verificar os pontos de congestionamento nas rotas de evacuação e deste modo testar novas soluções para melhorar o tempo de evacuação. Os resultados obtidos para as novas soluções, comparando com o layout original da estação de metro, mostram que é possível diminuir o tempo de evacuação em cerca de 19.5%.</p>

<p>(Rahman &amp; Sinaga, 2019)</p>	<p>Este estudo teve como objetivo analisar com base na simulação, a eficiência das rotas de evacuação em unidades hoteleiras, por forma a encontrar as rotas mais adequadas. Deste modo, foi escolhido o hotel Grand Kanaya, localizado em Medan, Indonésia, para realizar o estudo. Por forma a realizar a simulação, foi necessário criar o modelo do hotel e definir os devidos parâmetros de evacuação utilizando o <i>software</i> Rockwell Arena. Os resultados obtidos permitiram perceber, que as rotas de evacuação não eram eficientes, uma vez que, o tempo de evacuação das pessoas foi de 94.53 minutos e o tempo máximo de evacuação, exigido para este tipo de edifícios, é de 60 minutos. Desta forma, foram simuladas alterações nos elementos das rotas de evacuação, nas quais se percebeu, que a melhor recomendação seria adicionar escadas no lado sudeste do hotel, permitindo assim diminuir para 42 minutos o tempo de evacuação.</p>
<p>(Ashraf Tashrifullahi &amp; Hassanain, 2013)</p>	<p>Este artigo tem como objetivo determinar, com recurso à simulação computacional, o tempo ótimo de evacuação da principal biblioteca da universidade King Fahd (petróleo e minerais), situada na Arábia Saudita. Para realizar a simulação, foi estudado os requisitos necessários para a criação do modelo de simulação da universidade no <i>software</i> EVACNET4, sendo posteriormente realizadas as devidas simulações. Os resultados desta simulação mostraram que o tempo necessário para a evacuação de todas as pessoas da biblioteca foi de 295 segundos. De modo a validar os resultados obtidos foi usado o <i>software</i> FPETool. Nesta ferramenta, depois de inseridos os parâmetros necessários à simulação e realizada a simulação, foi obtido, um tempo de evacuação de 246 segundos. Com isto, o estudo conclui que a evacuação de todas as pessoas da biblioteca, pode ser realizada num intervalo de tempo compreendido entre 246 e 296 segundos.</p>
<p>(Gasparetto et al., 2018)</p>	<p>O objetivo deste estudo consiste em comparar, em caso de incêndio, os tempos de evacuação de uma simulação real e de uma simulação computacional. O edifício estudado faz parte de uma universidade pública do Sul do Brasil, o qual contém 4 andares, chamado Bloco A. A simulação real foi coordenada pelo corpo de bombeiros e pelos estagiários da universidade, contando com a participação de 329 pessoas. Na simulação computacional foi desenvolvido um modelo do edifício e feitas as devidas configurações no <i>software</i> Pathfinder. Realizadas ambas as simulações, foi obtido, um tempo de evacuação na simulação computacional de 146.2 segundos e 173 segundos na simulação real. Foi concluído que o uso da simulação computacional permite substituir a simulação real proporcionando a identificação das principais falhas nas rotas de evacuação, a identificação dos pontos de congestionamento e a simulação de diferentes cenários sem a necessidade da mobilização de pessoas num período temporal mais reduzido.</p>



(Li et al., 2018)	<p>Este estudo aborda a simulação da evacuação de pessoas, analisando a propagação do fumo e a falha dos sistemas de extinção em caso de incêndio, numa biblioteca universitária em Nanquim na China. Por forma a simular a evacuação das pessoas, foi construído o modelo da biblioteca no <i>software</i> Pathfinder e definidas as devidas configurações para a simulação da evacuação. Para o estudo da propagação do fumo, temperatura, visibilidade, tempo de risco, etc., foi utilizado o <i>software</i> Pyrosim. Os resultados obtidos pelas simulações, mostraram que o tempo de evacuação da biblioteca foi de 411 segundos e da sala de leitura de 165 segundos. Foi concluído, que não foi possível realizar a evacuação durante o tempo disponível para a mesma, sendo a saída do terceiro andar, o principal ponto de perigo para a evacuação, devido a ter um tempo de congestionamento elevado (94.3% do tempo requerido para a evacuação em segurança).</p>
(Jiaojiao & Jin, 2019)	<p>Este estudo analisa, com recurso à simulação, a evacuação em caso de incêndio da estação de metro Wenzhou Road Station em Hangzhou, China, estabelecendo uma avaliação dos níveis de risco de congestionamento na evacuação dos passageiros da estação de metro. Para realizar a simulação foi criado o modelo da estação no <i>software</i> Anylogic com as devidas configurações de evacuação, por forma a simular uma situação de incêndio na plataforma do metro e no <i>hall</i> da estação. Os resultados mostram que os níveis de risco de congestionamento são maiores quando ocorre um incêndio, como tal, foram feitas recomendações de forma a otimizar as possíveis evacuações de emergência.</p>
(Jiang et al., 2014)	<p>O estudo realizado consiste em analisar os principais fatores que afetam o desempenho da evacuação de pessoas em hospitais, na ocorrência de um incêndio. Como tal, foi escolhido o hospital Sheng Jing em Shenyang, na China, como objeto de estudo. Foi realizada uma simulação de evacuação do hospital em caso de incêndio, utilizando o <i>software</i> Fire Dynamics Simulator (FDS+EVAC). Os resultados da simulação mostram que os métodos usuais de gestão e encaminhamento das pessoas para uma determinada rota de evacuação, assim como a largura total disponível para a passagem de pessoas nessas rotas, representam um sério risco de segurança. Desta forma foi concluído que em edifícios hospitalares, a definição dos caminhos de evacuação, o encaminhamento das pessoas e a largura disponível para a passagem dessas pessoas nos caminhos de evacuação, são parâmetros fundamentais para uma evacuação segura.</p>
(Meng & Jia, 2017)	<p>Este estudo aborda a evacuação em caso de emergência da estação de metro Yingkou Road Station, localizada em Heping na China, com base na simulação computacional. A simulação foi realizada com recurso ao <i>software</i> Anylogic, no qual, foi elaborado o modelo da estação e realizadas as devidas configurações dos parâmetros de evacuação. Nos resultados da simulação é possível observar o número de pessoas evacuadas em cada canal, bem como, o tempo total de evacuação dos mesmos. Esses resultados mostraram que o canal 1, é o canal com menor tempo de evacuação, por outro lado, o canal 3 apresentou o maior tempo de evacuação. Com isto, foi realizada uma nova simulação, onde se pressupôs uma diversificação do fluxo das pessoas dos canais 2 e 3 para os canais 1 e 4. Os resultados da nova simulação revelaram uma otimização no tempo medio de evacuação.</p>

(Jevtic, 2016)	<p>Este artigo aborda, com recurso à simulação computacional, uma possível situação de evacuação de um túnel com 772 metros de comprimento em Belgrado, na Sérvia (Straževica tunnel). Para realizar a simulação foi escolhido o <i>software</i> Pathfinder, onde foi criado o modelo de simulação do túnel e inseridas as configurações necessárias para a simulação da evacuação. Esta simulação pressupôs uma colisão de veículos no túnel, que impediu a passagem de veículos (sem causar vítimas humanas). Foram realizadas simulações para diferentes velocidades de deslocação das pessoas, com o objetivo de perceber, qual a influência no tempo total de evacuação. Os resultados mostram que o tempo de evacuação é menor para as pessoas com maior velocidade de deslocação (3.5 m/s a 5m/s).</p>
(Asgary & Yang, 2016)	<p>Este estudo tem como objetivo, analisar a evacuação do campus universitário da universidade York (Keele Campus), localizada em Toronto, Ontário, Canadá, com recurso à simulação computacional. Neste estudo foi utilizado o <i>software</i> de simulação Anylogic, onde foi criado o modelo do campus universitário e introduzidos os parâmetros necessários para a simulação da evacuação. No modelo de simulação, foi introduzido o número de estudantes registados durante o semestre de inverno de 2014 (considerando apenas os alunos que necessitavam de ter aulas presencialmente). Para estes alunos foi criado um diagrama de estados, por forma a providenciar instruções passo a passo para a sua evacuação. Com isto os alunos passam por 4 estados: Alarme, Evacuação do edifício, Evacuação em curso e Evacuado. Os resultados obtidos, em mais de 40 simulações, mostram que quando é acionado o alarme de evacuação, os alunos entram nos quatro estados de evacuação, sendo necessário 44 a 67 minutos para evacuar em segurança 3000 a 13000 pessoas.</p>
(Hao et al., 2019)	<p>Este estudo consiste em analisar a evacuação de pessoas, com recurso a simulação computacional, de uma plataforma da estação ferroviária Nanjing South localizada em Nanquim, na China. A simulação foi realizada utilizando o <i>software</i> Anylogic, no qual, foi elaborado o modelo da estação e definidos os parâmetros da simulação. Com os resultados das simulações, foi possível concluir que: a evacuação pode ser realizada no tempo previamente definido, quando a plataforma contém 4000 a 6000 pessoas (taxa de sucesso de 99.6%); a diminuição do número de pessoas na plataforma, diminui o tempo de evacuação e permite realizar uma evacuação mais eficiente; quando a plataforma contém uma porção elevada de pessoas de idade média, o fluxo de evacuação aumenta e o tempo de evacuação diminui; quando a plataforma contém uma porção elevada de pessoas idosas, crianças ou pessoas com afinidade entre si, o fluxo de evacuação diminui e o tempo de evacuação aumenta.</p>

<p>(Trika Pitana &amp; Kobayashi, 2008)</p>	<p>O estudo verifica, com recurso à simulação computacional, a evacuação de passageiros de um navio cruzeiro, devido a um <i>Tsunami</i>, onde o tempo máximo para a realização da evacuação em segurança é de 6000 segundos. O objeto do estudo é um navio de grandes dimensões, com capacidade máxima de 4160 pessoas, localizado junto ao Tempozan Passaenger Terminal, no porto de Osaka, no Japão. Para realizar este estudo foi utilizada a simulação de eventos discretos, com recurso ao <i>software</i> Micro Saint Sharp 2.5, onde foram considerados vários cenários de evacuação com base na norma MSC.1/Circ.1033, onde são consideradas as condições durante a manhã, dia e noite. Os resultados mostram que no cenário de dia, todos os passageiros podem ser evacuados em segurança, se a saída do <i>deck</i> 7 para o Tempozan Passaenger Terminal, for larga o suficiente para passar duas ou três pessoas ao mesmo tempo. Nos cenários de manhã e à noite, foi possível verificar que os passageiros não são evacuados antes da chegada do <i>Tsunami</i>. Foi também concluído, que apesar de no cenário de dia ser possível evacuar todos os passageiros, será difícil para o navio após esta evacuação, evacuar para uma área de ancoragem de emergência.</p>
<p>(Nguyen et al., 2019)</p>	<p>Este estudo teve como objetivo, analisar e otimizar a evacuação de pessoas de uma torre de 350 metros (Lotus Tower) em Colombo, no Sri Lanka. Como tal, foram estudadas estratégias de evacuação e o comportamento humano, no caso de emergência devido à ocorrência de um incêndio, por forma a utilizar estes parâmetros no estudo em questão. Com estas informações, foi possível criar um modelo de simulação, com recurso ao <i>software</i> FDS + EVAC, por forma a serem analisados possíveis cenários de evacuação de pessoas da torre, devido à ocorrência de um incêndio. A realização desta simulação, permitiu verificar quais os fatores que têm uma maior influência na evacuação de pessoas, proporcionando desta forma, a possibilidade de os otimizar e por consequente otimizar a evacuação de pessoas. Devido a este estudo ter sido realizado ainda durante a construção da torre, permitiu que fossem efetuadas algumas alterações no <i>layout</i> da torre, com o objetivo de otimizar a evacuação de emergência.</p>
<p>(Caliendo et al., 2012)</p>	<p>O estudo tem como objetivo realizar e analisar a simulação da evacuação de pessoas, devido à ocorrência de um incêndio num camião de mercadorias, num túnel bidirecional. Este túnel tem de comprimento 1.2 km, de largura 10.5 m e de altura 5.5 m e é denominado de túnel de Varano. O túnel localiza-se na estrada S.S.145, no Sul de Itália, conectando as cidades de Castellamare di Stabia e Sorrento. Com a investigação realizada, foi concluído que o pior cenário de incêndio seria quando o camião de mercadorias estivesse localizado a meio do comprimento total do túnel. Foi também assumido que as pessoas teriam de abandonar os seus carros e caminhar até às saídas. Para realizar a simulação da evacuação foi utilizado o <i>software</i> STEPS em conjunto com <i>software</i> CFD para a criação do modelo de incêndio no túnel. Com a realização da simulação, foi obtido um tempo de evacuação de 539 segundos para o cenário em que está presente fumo não irritante, 695 segundos para o cenário em que está presente fumo irritante e 524 segundos para o cenário em que não existe fumo.</p>

(Sujatmiko et al., 2014)	<p>O estudo avalia/analisa a evacuação de emergência, em caso de incêndio, do edifício BB Rusunami, localizado em Bandung, Indonésia. Para esse efeito, foi realizada uma simulação real de evacuação, com 33 pessoas, e uma simulação computacional, sendo comparado o resultado de ambas. Para realizar a simulação computacional, foi utilizado <i>software</i> FDS-EVAC, no qual foi criado o modelo do edifício. Com a realização destas simulações, foi possível verificar que a o tempo de evacuação da simulação real está em conformidade com a simulação computacional se durante a evacuação, as pessoas caminharem normalmente. Foi também concluído, que o tempo necessário para realizar uma evacuação segura do edifício, é superior ao tempo disponível para realizar essa evacuação, como tal, o edifício necessita de sistemas de proteção de incêndio adicionais de modo a garantir a segurança das pessoas que residem no edifício.</p>
(Chi, 2014)	<p>Este estudo consiste em analisar e reconstruir o incêndio e consequente evacuação do Snow hotel, localizado na rua Tai-Yuan, distrito de Da-Tong, no Taipei, em março de 2009. No hotel estavam 23 pessoas quando deflagrou o incêndio, sendo que dessas 23 pessoas, 4 evacuaram sem assistência, 11 foram resgatadas e 8 pessoas perderam a vida. Para realizar a reconstrução do incêndio, consequente evacuação do hotel e simular outros cenários de evacuação por forma a otimizar a evacuação, foi utilizado o <i>software</i> de simulação FDS + EVAC. Com os resultados das simulações, foi possível concluir que o uso de sistemas de <i>sprinklers</i> automáticos, ajuda a suprimir eficientemente o fogo. As paredes e portas corta-fogo, instaladas entre o hall e as escadas de cada piso, previnem que o fogo se alastre aos restantes pisos, no entanto, torna mais perigosa a evacuação das pessoas localizadas no piso onde está o fogo. Foi ainda realizada uma simulação real com 50 pessoas, por forma a desenvolver estratégias de segurança de baixo custo, mas altamente viáveis, uma vez que, muitos proprietários de pequenos hotéis e hotéis mais antigos, não estão dispostos a adotar as medidas preventivas que foram simuladas neste estudo. Os resultados desta simulação demonstram a importância dos hóspedes conhecerem as rotas de evacuação do hotel, a necessidade de reforçar treinos de evacuação e educação de segurança e de emitir um aviso em caso de alarme, por forma a informar as pessoas que é um alarme real e não um falso alarme.</p>

A revisão bibliográfica de trabalhos relacionados com a simulação de evacuação de edifícios permitiu verificar a importância e o contributo da ferramenta de simulação no processo de apoio à decisão. Com os resultados obtidos nos diversos estudos é possível constatar a importância da simulação para a melhoria dos processos de evacuação, dado que ela permite identificar os principais fatores que influenciam a evacuação de pessoas, os principais pontos de estrangulamento e verificar qual o tempo necessário para a evacuação de pessoas em segurança, comparando-o com o tempo disponível para essa evacuação. Estas informações são de enorme importância para a verificação da segurança dos edifícios em casos de possíveis ameaças que originem situações de evacuação, uma vez que permitem

prever certos acontecimentos e retificar falhas e diversos fatores, por forma a que seja possível efetuar uma evacuação em segurança.

### **2.3 EVACUAÇÃO DE EDIFÍCIOS**

A evacuação é uma das principais soluções para reduzir o impacto de ameaças naturais ou de ameaças provocadas pelo homem nas pessoas presentes nos edifícios (Ruggiero Lovreglio, 2018).

Evacuação pode ser definida como a saída de pessoas de uma área (por exemplo de um edifício) devido a uma potencial/real ameaça. A reunião de um elevado número de pessoas em áreas consideravelmente pequenas, em casos de emergência, pode originar processos de evacuação complexos (Schadschneider et al., 2011).

Segundo (Hamacher & Tjandra, 2002), a evacuação é definida como a evacuação de pessoas de uma área, considerada perigosa, para uma zona segura o mais rápido possível e com a máxima fiabilidade. O mesmo autor refere que podem surgir problemas de evacuação em diferente tipo de sistemas, como edifícios, cidades, regiões, meios de transporte, etc., onde, as estruturas dos sistemas (por exemplo o comportamento das pessoas em risco, a velocidade de propagação do perigo e as suas características, etc.) normalmente influenciam o planeamento de evacuação dos mesmos.

(Hadzic et al., 2011) afirmam que o planeamento de evacuação envolve a construção de planos, para a rápida movimentação de pessoas de uma área afetada pela ameaça/perigo para áreas seguras.

O objetivo de qualquer plano de evacuação de edifícios é de garantir a deslocação mais rápida e segura dos indivíduos para longe de qualquer ameaça (por exemplo uma ameaça de bomba) ou perigo real (por exemplo a ocorrência de um incêndio, desastre natural, etc.). Contudo, é de elevada dificuldade a definição de um plano ótimo de evacuação, devido a ser necessário avaliar uma enorme quantidade de rotas de evacuação, por forma a não encaminhar os indivíduos para situações perigosas (por exemplo saídas bloqueadas, espaços com fumo, etc.), e devido os planos de evacuação terem pouca flexibilidade. Como tal, é essencial a utilização de *softwares* para apoio à decisão para a resolução dos problemas mencionados (Garcia-Ojeda et al., 2012).

Segundo (Zu & Dai, 2017), em situações de emergência em edifícios, é de extrema importância evacuar as pessoas das zonas consideradas perigosas para zonas seguras, sendo que, a existência de estratégias de evacuação eficientes permite reduzir as casualidades de um possível desastre. Como tal, é necessário melhorar as técnicas relacionadas com a evacuação, como por exemplo, a configuração do edifício, rede de sensores e trocas de informação, com a finalidade de proteger as pessoas durante a evacuação.

Segundo (Ding et al., 2021), a evacuação em caso de emergência é um problema crucial em grandes edifícios (por exemplo arranha-céus), devido a existência de muitas pessoas num espaço limitado. Segundo os mesmos autores, para melhorar a segurança dos edifícios e as estratégias de evacuação é essencial compreender o comportamento das pessoas em situações de evacuação.

As tomadas de decisão durante uma situação de evacuação têm de ser realizadas num curto período de tempo, de modo a minimizar o tempo de evacuação e evitar lesões graves derivadas do perigo em vigor. Contudo, é difícil para as pessoas nestas situações fazerem as melhores decisões, dado que, muitas das vezes não sabem qual a melhor rota a seguir em direção à saída e o espaço onde estão inseridas pode sofrer alterações devido à propagação do perigo (por exemplo a propagação de um incêndio) (Filippoupolitis & Gelenbe, 2009).

A duração do tempo de evacuação é determinante para a sobrevivência em situações de emergência; como tal, os edifícios devem possuir sistemas que ajudem na orientação das pessoas para as saídas, por forma a diminuir o tempo de evacuação (Fu et al., 2019).

Com o objetivo de melhorar o desempenho de uma possível evacuação e a segurança das pessoas, é importante estudar e prever a dinâmica do comportamento das pessoas em situações de emergência, prever tempos de evacuação e testar a segurança dos edifícios que recebem público (Helbing & Johansson, 2012; Pelechano & Malkawi, 2008; Shi et al., 2009; Tan et al., 2015).

Normalmente existe três fases do processo de evacuação, sendo a primeira o período de validação do acontecimento, de seguida o período de tomada de decisão e a última fase será o período de movimentação/refugio (Kobes et al., 2010b).

### 2.3.1 COMPONENTES E ESTRATÉGIAS DE EVACUAÇÃO DE EDIFÍCIOS

Na evacuação de edifícios é importante compreender o processo de saída dos mesmos e as componentes que estão associadas a este processo. Normalmente numa situação de emergência, o procedimento normal é efetuar a evacuação no sentido descendente do edifício, ou seja, as pessoas primeiramente devem efetuar a saída do compartimento onde estão inseridas, em seguida, devem mover-se horizontalmente para uma das saídas verticais do piso, após isto, necessitam de ingressar nessas saídas verticais (por exemplo as escadas) e deslocar-se no sentido descende do edifício (caso seja possível e não existe nenhuma indicação em contrário) e, por fim, devem sair do edifício e deslocar-se para um local seguro. (R. W Bukowski & Tubbs, 2016; Richard W Bukowski, 2007; Ronchi & Nilsson, 2013).

Para edifícios altos, o tempo total de evacuação depende muito da distância vertical a ser percorrida pelas pessoas e da disponibilidade das componentes do percurso em direção à saída do edifício (Mansor et al., 2019).

Segundo (Ronchi & Nilsson, 2013; Shastri et al., 2018), as componentes do percurso para a saída dos edificio, em caso de emergência, podem ser divididas em componentes de saída vertical e horizontal, sendo as saídas verticais um fator vital para o procedimento de evacuação de um edifício.

De seguida são apresentadas algumas das componentes mais importantes:

- Escadas – As escadas são um método tradicional e seguro para evacuar um edificio. Nesta componente é necessário ter em consideração a configuração das escadas e o comportamento das pessoas, uma vez que estes fatores contribuem para que haja um tempo de descida lento, podendo provocar filas nas escadas e nos seus acessos. A velocidade de deslocação das pessoas nas escadas, varia entre 0.52 a 0.62 m/s e 0.45 e 0.43 m/s para as crianças e idosos (Shastri et al., 2018);
- Elevadores – O conceito tradicional de não utilizar elevadores durante uma emergência tem vindo a ser superado pela necessidade de procurar métodos mais rápidos e eficazes na evacuação de edifícios altos e pelo facto de existirem vários problemas na evacuação de pessoas com mobilidade reduzida, através das escadas. Desta forma, a utilização de elevadores possibilita uma saída adicional, podendo ajudar as pessoas com mobilidade

reduzida a realizar a evacuação sem ajuda. Por outro lado, é preciso ter em consideração que o espaço limitado dos elevadores pode criar problemas de acumulação de pessoas, sendo que na ocorrência de um incêndio, o fogo, as temperaturas elevadas e fumos podem infiltrar-se no elevador, em particular, durante o seu movimento, uma vez que a pressão negativa irá sugar o fumo para o interior do elevador (Ronchi & Nilsson, 2013);

- Pontes (*Sky-Bridges*) – Quando os edifícios possuem uma determinada altura, pode ser interessante introduzir meios de evacuação horizontal, por exemplo, uma ponte que conecte duas torres (no caso de existir edifícios adjacentes). Desta forma, as pessoas possuem mais uma alternativa de evacuação, a qual diminui a distância vertical percorrida na evacuação (Shastri et al., 2018);
- Pisos de refúgio – Os pisos de refúgio providenciam uma área de refúgio temporária, sendo de enorme importância para pessoas com mobilidade reduzida ou com ferimentos. Estes pisos são também um local onde as pessoas podem descansar durante uma evacuação, podendo ser igualmente utilizados como ponto de comando para as equipas de resgate. Uma das preocupações do uso de pisos de refúgio deve-se ao facto de, em vários simulacros, as pessoas evacuaram para o piso de refúgio mais próximo, ficando a aguardar novas informações. Isto causa uma sobrelotação do espaço, podendo criar estrangulamentos nos caminhos de evacuação (R. W Bukowski & Tubbs, 2016);
- Meios alternativos para a evacuação:
  - Uso de helicópteros;
  - Plataformas de resgate;
  - Dispositivos de descida controlada;
  - Escorregadores.

Estas componentes são um dos passos necessários para os edifícios alcançarem um nível de segurança adequado. No entanto, para uma evacuação eficiente, é necessário que exista uma densidade moderada nos caminhos de evacuação, por forma a que não sejam formados grandes congestionamentos e também que a evacuação decorra com uma velocidade adequada. Como tal, as estratégias de evacuação desempenham um papel fundamental para a segurança do edifício (Ronchi & Nilsson, 2013).



O principal objetivo das estratégias de evacuação é providenciar, o melhor possível, as condições para uma evacuação segura de pessoas. Para isso, são necessárias diferentes abordagens para diferentes tipos de ocupantes e diferentes tipos de edifícios (Satir & Toprakli, 2020).

As estratégias principais podem ser sumarizadas em quatro abordagens (Shastri et al., 2018):

- Evacuação total do edifício (ou Evacuação total e simultânea do edifício) – Este é uma estratégia tradicional e segura de evacuação de edifícios. É uma estratégia simples de implementar, consistindo em evacuar as pessoas de todos os pisos em simultâneo. No entanto, esta estratégia pode causar alguns pontos de estrangulamento, principalmente nas escadas, aumentando o tempo necessário de evacuação;
- Evacuação faseada – Em edifícios altos, a evacuação faseada por vezes pode ser preferencial. Esta evacuação permite que as pessoas presentes nos andares mais críticos, tenham prioridade na evacuação através das escadas ou elevadores, sendo que as restantes pessoas podem ser evacuadas conforme seja necessário;
- Abordagem de ficar no local (*Stay-in-place* ou *protect-in-place*) – Normalmente esta estratégia é utilizada caso todas as saídas estejam bloqueadas. Nesta situação, é recomendado que as pessoas fiquem no local onde se encontram e peçam ajuda;
- Atrasar a evacuação – Atrasar a evacuação, é uma estratégia sugerida quando as pessoas estão temporariamente à espera da equipa de resgate num local designado para esse efeito (por exemplo os pisos de refúgio). Neste caso, o termo “Atrasar a evacuação” é entendido como sendo um atraso deliberado na evacuação, fazendo parte de uma estratégia de evacuação. É uma estratégia útil para o resgate de pessoas com deficiências temporárias ou permanentes.

A aplicação destas estratégias depende das características do edifício, da população envolvida e dos funcionários/equipa de resgate (Ronchi & Nilsson, 2013).

### 2.3.2 FASES DO PROCESSO DE EVACUAÇÃO E TEMPOS DE EVACUAÇÃO

O tempo de evacuação é um conceito importante no processo de evacuação, indicando o tempo necessário para as pessoas se moverem de uma área considerada perigosa para uma área segura (Ng & Chow, 2006).

O início da movimentação das pessoas depende da percepção da existência de uma ameaça, experienciando depois vários processos mentais, desencadeando vários atos antes e/ou no decorrer da deslocação para um local seguro (dentro ou fora do edifício). Este processo de evacuação é dividido em três atividades/etapas (Kobes et al., 2010b):

- Percepção do perigo por estímulos externos (validação do acontecimento);
- Validação e resposta aos indicadores de perigo (tomada de decisão);
- Movimentação para um local seguro (Movimentação/refugio).

Segundo o estudo realizado por (Zhu & Shi, 2016), o processo de evacuação realizado por cada individuo seguiu três fases consecutivas: primeiramente, consiste na validação do acontecimento através do sinal dado, de seguida, a tomada de decisão sobre a direção de movimentação a seguir baseado na informação disponível (informação audível, a direção de movimentação das outras pessoas e a sua experiencia) e, por fim, a movimentação para o local seguro.

As duas primeiras atividades são consideradas atividades de pré-movimentação, uma vez que são comportamentos complexos que ocorrem durante um período do processo de evacuação, antes de ocorrer o primeiro movimento em direção à saída (Ng & Chow, 2006).

Segundo (Forssberg et al., 2019), a sequência de comportamentos manifestados na fase de pré-movimentação pode ser aplicada a diferentes tipos de ocupação dos edifícios, sendo uma base para abordagem de engenharia sobre o comportamento humano durante uma evacuação. Esta sequência de comportamentos tem sido aplicada na avaliação da evacuação de edifícios e tuneis.

Segundo (Kobes et al., 2010a), as análises de incidentes têm demonstrado que existe uma conexão entre um atraso no começo da evacuação e o número elevado de mortes e feridos, principalmente em incêndios em edifícios residências e hotéis. Com isto, a pré-

movimentação e os comportamentos pré-movimentação são atualmente aspetos chave no processo de evacuação.

A última atividade diz respeito ao período de tempo necessário para vencer o percurso de evacuação, definido como sendo o tempo gasto pelos ocupantes na procura de uma situação segura (Ng & Chow, 2006).

Na literatura podemos ver alguns dados recolhidos sobre estes tempos na evacuação de edifícios. A (CFPA Europe, 2009) propõe uma estimativa dos tempos de pré-evacuação (Tabela 2, em segundos) em situações de incêndio, baseando-se no tipo de alarme (W1, W2 e W3) e do tipo de ocupação do edifício, como se pode observar na Tabela 2.

**Tabela 2** Estimativa de tempos de pré-movimentação (CFPA Europe, 2009).

Tipo de ocupação	W1	W2	W3
Escritórios, edifícios comerciais e industriais, escolas e universidades (As pessoas estão acordadas e familiarizadas com o edifício, com o sistema de alarme e com o procedimento de evacuação).	< 60 s	180 s	> 240 s
Lojas, museus, centros de lazer e desporto e outros edifícios com grande afluência de pessoas (As pessoas estão acordadas, mas podem não estar familiarizadas com o sistema de alarme do edifício e com os procedimentos de evacuação).	< 120 s	180 s	> 360 s
Dormitórios e edifícios residenciais médios e altos (As pessoas 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 (As pessoas podem estar a dormir, mas normalmente 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 número significativo de pessoas que necessitam de assistência).	< 180 s	300 s	> 480 s

As siglas W1, W2 e W3 definem como é dado o alarme em caso de emergência, ou seja, W1 significa que é utilizado o sistema de comunicação por voz, a partir da sala de controlo, por forma a informar a emergência e o procedimento de evacuação em tempo real, podendo estas diretivas ser utilizadas em conjunto com funcionários bem treinados e uniformizados,

que podem ser vistos e ouvidos por todos os ocupantes do espaço. W2 significa que as orientações de evacuação são dadas através de mensagens de voz pré-gravadas e/ou de sinalética de evacuação. Por fim, W3 significa que o aviso de emergência é realizado através do alarme de incêndio e através de funcionários sem formação adequada.

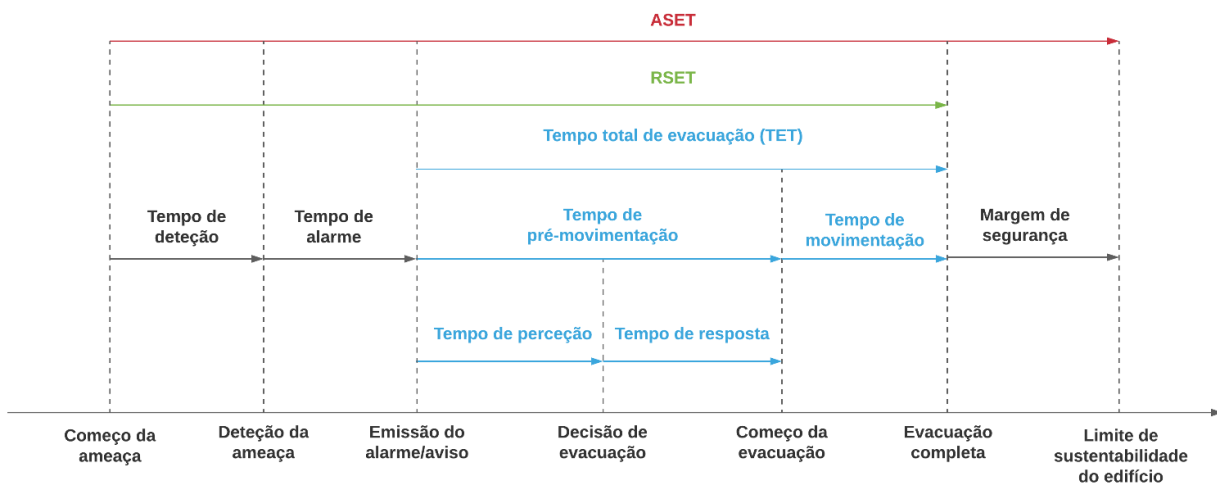
Segundo as informações recolhidas por (R. Lovreglio et al., 2019) em simulacros não anunciados, o tempo médio de pré-evacuação em três hotéis na Holanda, utilizando um alarme através de mensagens telefônicas, foi cerca de 136,62 segundos, 89,88 segundos e 97,98 segundos, respetivamente. Nesse mesmo estudo, refere que em dois hotéis (arranha-céus) nos Estados Unidos da América, o tempo médio de pré-evacuação devido à ocorrência de um incêndio, sem que tivesse sido acionado o alarme, foi de 1267,5 segundos e 4416,78 segundos.

Segundo (Rahouti et al., 2020), a evacuação é dividida em duas fases: a fase de pré-evacuação (pré-movimentação) e a fase de movimento da evacuação. Para estes autores, a fase de pré-movimentação engloba as atividades de perceção do incidente por parte das pessoas, até à tomada de decisão para evacuar para um local seguro. A fase de movimentação acontece logo após a fase de pré-movimentação e acaba quando as pessoas chegam a um local seguro. Na evacuação da maioria dos edifícios, o cronograma de evacuação é normalmente visualizado como sendo um processo linear, progredindo através da deteção, aviso, fases de pré-movimentação e movimentação.

Com isto, é importante referir alguns conceitos sobre o período temporal destes eventos e da sua importância na evacuação de pessoas (Ruggiero Lovreglio, 2018; Żydek et al., 2021):

- O tempo necessário para completar uma evacuação em segurança é conhecido como *required safe egress time* (RSET);
- Tempo disponível para evacuação em segurança das pessoas, antes que as condições do edifício comecem a ficar insustentáveis, é designado de *available safe egress time* (ASET). A duração do ASET deve ser superior à do RSET;
- Tempo total de evacuação, ou *Total evacuation time* (TET), é o período tempo necessário para evacuar todas as pessoas desde o momento em que é dado o alarme/aviso de evacuação.

Na Figura 1 é apresentado um cronograma geral da evacuação de edifícios. No eixo inferior estão representados os principais eventos que normalmente acontecem em todos os processos de evacuação. Um dos tempos mais importantes, que também está representado na Figura 1, é o TET, sendo neste período que decorre a evacuação de pessoas, estando dependente dos comportamentos e resposta humana à emergência. Em alguns tipos de desastre, como por exemplo os incêndios, a fase de pré-evacuação pode ser a mais importante, uma vez que, as pessoas necessitam de reconhecer a emergência e prepararem-se para a evacuação, enquanto em desastres, como por exemplo terremotos, as pessoas conseguem mais facilmente perceber a ameaça/perigo, diminuindo assim o tempo de pré-movimentação. (Forssberg et al., 2019; Ruggiero Lovreglio, 2018; Rahouti et al., 2020).



**Figura 1** Cronograma de evacuação de edifícios (Ruggiero Lovreglio, 2018).

Por forma a perceber a segurança da configuração do edifício, numa situação de evacuação, temos de comparar o ASET com o RSET. O tempo necessário para os ocupantes do edifício alcançar uma região segura não deve exceder o tempo necessário para o edifício chegar a estado crítico ou instável. Por outras palavras, é possível realizar uma evacuação em segurança, caso o ASET seja superior ao RSET (Ng & Chow, 2006; Żydek et al., 2021).

### 2.3.3 FATORES QUE INFLUENCIAM A EVACUAÇÃO

Existem diversos fatores que podem condicionar e causar um grande impacto no processo de evacuação. Segundo (Sun & Turkan, 2020), no caso da ocorrência de incêndios (podendo generalizar-se para outro tipo de ameaças), existem três principais fatores:

- Características do fogo;

- Características físicas dos edifícios;
- Comportamentos humanos.

Com a ocorrência de uma ameaça/perigo que provoque a evacuação de um edifício, um dos principais fatores que influênciam diretamente o desempenho da evacuação são as características dessa ameaça/perigo (exemplos: o nível de destruição causado por um terremoto, o nível de um incêndio, complexidade de um ataque terrorista, etc.).

As características físicas do edifício também têm um impacto direto, uma vez que um edifício é um ambiente fechado, onde decorrem atividades e estão presentes pessoas.

Por fim, os comportamentos humanos também têm uma influência direta e importante no desempenho da evacuação, podendo ser analisados em termos pessoais (características pessoais) e em grupos de pessoas (características sociais e situacionais). Em termos pessoais, destacam-se fatores como a personalidade, conhecimento, experiência, capacidade de observação, capacidade de avaliação e capacidade de movimentação. As características sociais estão ligadas às interações entre as pessoas que estão no edifício, o grau de compromisso em relação à tarefa que estão a desempenhar e as funções ou responsabilidades das pessoas que estão no edifício. A existência de fortes laços sociais entre as pessoas, numa situação de perigo, leva a que estas sempre que possível respondam às situações em grupo. Por outro lado, o compromisso das pessoas com as tarefas que estão a desempenhar inibe o reconhecimento da ameaça e aumenta o tempo de processamento dos riscos dessa ameaça (por exemplo, as pessoas têm tendência a finalizar o seu trabalho antes de evacuar). As pessoas com responsabilidades organizacionais do edifício, devido às suas funções/posições, também têm a tendência de assumir os seus deveres durante uma situação de emergência. O processo de evacuação também é afetado pelas características situacionais como a lucidez/estado de alerta das pessoas, posição física (passiva ou em movimento) e a familiaridade com a configuração do edifício (Kobes et al., 2010a).

Segundo (R. Lovreglio et al., 2019), prever os comportamentos humanos é fundamental para aumentar a segurança do edifício.

Nos comportamentos humanos, na análise das características individuais, verifica-se que existem diversos fatores que podem influenciar o processo de evacuação. Um dos fatores é a percepção, o qual permite recolher a informação que viabiliza uma resposta com sucesso do organismo. Os fatores psicológicos de cada pessoa, como por exemplo emoções fortes

(medo, *stress*, ansiedade, etc.), podem, de igual forma, afetar o processo de tomada de decisão e conseqüentemente o processo de evacuação (Ronchi et al., 2019).

Segundo (Gershon et al., 2012), fatores individuais como sociodemográficos, estado de saúde, experiência em evacuações de emergência, percepção, atitudes, e comportamentos, influenciam o processo de evacuação.

Os resultados do estudo desenvolvido por (Lee et al., 2018) afirmam que diferentes experiências têm diferentes efeitos no comportamento da evacuação. A participação anterior em simulacros ou a experiência em emergências anteriores que resultaram em evacuações desempenham um papel fundamental no processo de tomada de decisão das pessoas, sendo que estas mais propensas a evacuar do que as pessoas sem essa experiência. O estudo também demonstra que os fatores demográficos e socioeconômicos podem influenciar o processo de tomada de decisão.

As características físicas do edifício constituem um fator que influencia o desempenho da evacuação. As características físicas do edifício, providenciam as condições primárias para a possibilidade de sobreviver a uma ameaça/perigo. Estas características podem dividir-se em fatores de construção ou fatores situacionais. Os fatores de construção englobam a planta do edifício (configuração do edifício), instalações, materiais, compartimentação e tamanho do edifício. Os fatores situacionais incluem a densidade ocupacional do edifício, a complexidade do edifício, a presença de uma equipa de evacuação do edifício e o nível de implementação e manutenção dos equipamentos de segurança (por exemplo os sistemas e equipamentos de segurança contra incêndios). É de referir que a avaliação de incidentes mostra que as pessoas não se apercebem da presença de sinalização de segurança (direções das saídas) quando estas estão posicionadas num nível alto, levando a que a escolha do caminho de saída do edifício não seja com base na sinalização. Por outro lado, as experiências que têm vindo a ser realizadas mostram que as marcas fotoluminescentes do caminho de saída a um nível baixo são mais eficazes que a sinalização de segurança convencional (Kobes et al., 2010a).

Segundo (Sun & Turkan, 2020), as propriedades térmicas dos materiais afetam severamente a capacidade do edifício resistir ao fogo. O autor refere que o número de saídas disponíveis, as localizações das saídas, a largura das saídas, a sensibilidade do sistema de

alarme, o número de pessoas no edifício, a visibilidade e facilidade de as pessoas encontrarem os caminhos para a saída podem afetar o processo de evacuação.

Como foi dito anteriormente, a natureza da ameaça/perigo que provoca a evacuação é um dos fatores que influencia a evacuação. Segundo (Gershon et al., 2007), as condições do ambiente, como por exemplo a existência de fumo, chamas, destroços, etc., condicionam o processo de evacuação. Segundo (Kobes et al., 2010a) e (Sun & Turkan, 2020), as características do fogo, ou seja, da ameaça, condicionam o processo de evacuação, sendo que, na existência de um incêndio, as temperaturas elevadas, a toxicidade, o fumo, os locais em chamas, o ritmo de evolução do fogo, etc. são fatores provocados pela ameaça/perigo, que influenciam a evacuação de pessoas.

## **2.4 EVACUAÇÃO DE EDIFÍCIOS EM PORTUGAL – LEGISLAÇÃO**

A publicação do Regime Jurídico da Segurança Contra Incêndios em Edifícios (DL n.º 220/2008 de 12 de novembro), bem como o seu Regulamento Técnico (Portaria n.º 1532/2008 de 29 de dezembro) definiram a aplicação e implementação de medidas de autoproteção em todos os edifícios e recintos, incluindo os existentes à data da entrada em vigor da legislação (Esteves & Calmeiro, 2015).

Segundo (ANPC, 2014), em caso de emergência, devem ser adotados procedimentos para cada tipo de utilização-tipo (UT), os quais deverão cumprir um conjunto de regras previamente definidas e organizadas, de forma a organizar a resposta aos riscos previsíveis no estabelecimento/edifício/recinto em causa.

Conforme o estipulado no art.º 204º, da Portaria n.º 1532/2008, de 29 de dezembro, para as UTs devem ser definidos e cumpridos procedimentos e técnicas de atuação em caso de emergência, contendo no mínimo os seguintes pontos (Governo Português, 2009):

- Procedimentos de alarme, que devem ser seguidos em caso de deteção ou perceção de um incêndio;
- Procedimentos de alerta;
- Procedimentos a adotar para garantir a evacuação rápida e segura dos espaços em risco;
- Técnicas de utilização dos meios de primeira intervenção e de outros meios de atuação em caso de incêndio, que sirvam os espaços da utilização-tipo;



- Os procedimentos de receção e encaminhamento dos bombeiros.

Segundo o estipulado no art.º 205º, da Portaria n.º 1532/2008, de 29 de dezembro, o plano de emergência interno do edifício ou recinto tem como objetivos sistematizar a evacuação enquadrada dos ocupantes da utilização-tipo que se encontrem em risco e limitar a propagação e as consequências dos incêndios, recorrendo a meios próprios. Este plano deve ser constituído por (Governo Português, 2009):

- a) A definição da organização a adotar em caso de emergência;
- b) A indicação das entidades internas e externas a contactar em situação de emergência;
- c) O plano de atuação;
- d) O plano de evacuação;
- e) Por um anexo com as instruções de segurança a que se refere o artigo 199.º;
- f) Por um anexo com as plantas de emergência, podendo ser acompanhadas por esquemas de emergência.

Focando no plano de evacuação, este deve contempla as instruções e os procedimentos a adotar por todo o pessoal da utilização-tipo, por forma a garantir a evacuação ordenada, total ou parcial, dos espaços considerados em risco pelo responsável de segurança, devendo abranger (Governo Português, 2009):

- a) O encaminhamento rápido e seguro dos ocupantes para o exterior ou para uma zona segura, mediante referenciação de vias de evacuação, zonas de refúgio e pontos de encontro. Devem ser identificadas as saídas que conduzem ao exterior do edifício (normais e de emergência) e definidos os caminhos de evacuação (itinerário normal e itinerário alternativo);
- b) O auxílio a pessoas com capacidades limitadas ou em dificuldades, por forma a garantir que ninguém fique bloqueado;
- c) A confirmação da evacuação total dos espaços e garantia de que ninguém a eles regressa.

Em caso de emergência tem de existir uma equipa de alarme e evacuação que deve dirigir-se a um local/zona designada, de modo a coordenar a evacuação segundo as instruções recebidas, devendo comprovar que não ficou ninguém no local/zona, comunicar ao Posto de Segurança as incidências e confirmar que todas as pessoas do seu local/zona

estão no ponto de encontro pré-estabelecido. Com isto, os ocupantes do edifício em caso de emergência, devem seguir o itinerário de saída correspondente ao seu local/zona com ordem e rapidez, sem recolherem objetos pessoais e sem obstruir as saídas, devendo continuar, sem voltar para trás, até alcançar um ponto de encontro ou reunião. Uma vez decretado o alarme e ativado o plano de emergência interno, só em casos únicos (por bloqueio do itinerário normal previsto), se deve utilizar o itinerário alternativo previsto (ANPC, 2014).

Segundo (ANPC, 2014), em UT do tipo VII (Hoteleiros e restauração), na definição dos procedimentos de evacuação, devem ser tidos em consideração os seguintes pontos:

- Clientes que não conhecem o edifício;
- Durante o período noturno apenas está a trabalhar o rececionista;
- Se os pontos de reunião no exterior não são possíveis de ser sinalizados por estarem na via pública, deverá ser indicado aos ocupantes para esperar no exterior, dando uma referência de onde devem aguardar instruções.

(ANPC, 2014) refere que para efeitos de orientação, pode-se considerar os seguintes valores como tempos máximos para a evacuação de um edifício:

- 10 minutos para a evacuação total de um edifício;
- 3 minutos para a evacuação de cada piso.

No conjunto pode estimar-se que a duração total de um exercício de evacuação não deverá ser superior a 30 minutos.

## **2.5 SOFTWARES DE APOIO À EVACUAÇÃO**

De uma forma geral, os métodos de apoio à decisão para os problemas relacionados com as evacuações de emergência são classificados como análises matemáticas ou simulações computacionais (Liu et al., 2016).

Segundo (Law, 2019), as simulações computacionais podem ser realizadas com recurso a pacotes de *software* de simulação (Pathfinder, AnyLogic, Arena, ExtendSim, FlexSim, Simio, SIMUL8, etc.) ou com recurso a linguagens de programação genéricas (C++, Java, etc.).

As linguagens de simulação oferecem mais flexibilidade do que os simuladores, uma vez que possuem todas as capacidades das linguagens de programação genéricas, apresentando, algumas delas, capacidades gráficas sofisticadas, o que facilita o trabalho de programação, diminuindo assim o tempo de desenvolvimento do modelo. No entanto, são necessários diversos conhecimentos de programação de modo a criar o modelo de simulação. Por outro lado, simuladores são de fácil aprendizagem e não requerem um conhecimento aprofundado de programação, uma vez que muitos dos simuladores possuem interfaces gráficas que permitem que o modelo seja desenvolvido interactivamente e graficamente. Com estes recursos dos simuladores, o tempo de concepção dos modelos é bastante mais rápido do que em qualquer uma das alternativas (Macal & North, 2014; Siyam et al., 2020).

Segundo (Siyam et al., 2020), os simuladores NetLogo e AnyLogic foram os simuladores mais utilizados na área da simulação de evacuação de pessoas. Neste estudo foram analisados diversos artigos relativos à simulação de evacuação de pessoas, por forma a perceber quais as tecnologias/ferramentas utilizadas para realizar os estudos em questão. Além dos simuladores indicados anteriormente, foram ainda utilizados simuladores como o Pathfinder, GAMA, Exitus, Agent Analyst, AlEva, buildingEXODUS, CrowdSim, EVAC, FDS + EVAC, MASON, MASSEgress, Massive, MassMotion, MATSim, Flood Simulator, Mercurial, NetProLogo, OpenSteer, PULSE, PyroSim, Repast e SAFEgress. Em alguns casos foram também utilizadas linguagens de programação nativas como o C#, Java e pacotes de *software* como o Visual Studio.

### **2.5.1 SOFTWARE PATHFINDER**

Para a realização do trabalho proposto nesta dissertação foi escolhido o *software* de simulação Pathfinder.

Este *software*, desenvolvido pela Thunderhead Engineering, tem a capacidade de simular a evacuação de edifícios com um elevado número de pessoas e com uma grande e complexa geometria. Para isso, este *software* permite criar um modelo computacional, de modo a simular as ações e interações entre os ocupantes dos edifícios, permitindo, assim, compreender o comportamento do sistema em estudo, descobrir pontos de congestionamento e de estrangulamento (Thunderhead Engineering, 2019).

A movimentação dos ocupantes neste *software* é realizada num espaço 3D contínuo, utilizando uma técnica chamada de *inverse steering*. Esta técnica avalia a cada momento a eficácia da movimentação em diversas direções, ou seja, permite que os ocupantes selecionem a direção com o menor custo, com base em diversos valores, incluindo a direção de movimento proposta comparada com o menor trajeto e a probabilidade de colidir com outros ocupantes (Thornton et al., 2011).

O *software* Pathfinder oferece diversas funcionalidades, de modo a possibilitar representar o comportamento e movimentação dos ocupantes dos edifícios de uma forma realista. De entre as diversas funcionalidades, destacam-se as seguintes (Thunderhead Engineering, 2014; Żydek et al., 2021):

- Interface gráfica – O *software* Pathfinder oferece uma interface gráfica para o desenvolvimento do modelo de simulação e para a sua execução, sendo que o modelo e os resultados da simulação podem ser visualizados com recurso a ferramentas 2D e 3D;
- Criar perfis – Os perfis permitem definir no modelo de simulação as características dos ocupantes do edifício (dimensão, velocidade e escolha da saída). Cada ocupante do edifício, no modelo de simulação, apenas pode ter associado um perfil;
- Criar comportamentos – Os comportamentos representam a sequência de ações que os ocupantes irão realizar durante a simulação, como por exemplo, esperar um determinado tempo numa determinada área, deslocar-se para uma determinada área, deslocar-se para qualquer saída, deslocar-se para uma determinada saída, etc. À semelhança dos perfis, no modelo de simulação, cada ocupante do edifício só pode ter associado um comportamento;
- Adicionar ocupantes – Neste *software* existe a possibilidade de adicionar no modelo de simulação ocupantes individualmente, ou, por outro lado, adicionar um grupo de ocupantes. Ao adicionar ocupantes em grupo, o comportamento destes irá refletir o comportamento de pessoas com um laço social entre si, ou seja, irão, em primeiro lugar, procurar as pessoas desse grupo e, de seguida, proceder à evacuação, mantendo uma distância mínima entre si. O Pathfinder requer que cada ocupante tenha um caminho disponível para uma porta de saída, caso não tenha, quando for executada a simulação, o programa irá

devolver um erro a informar que os ocupantes estão impossibilitados de sair. Neste *software*, os ocupantes são representados por uma forma cilíndrica ou poligonal, sendo a forma cilíndrica usada para representar homens ou mulheres e a forma poligonal para representar veículos de assistência usados na evacuação (cadeiras de rodas, camas). Por defeito, a forma cilíndrica apresenta um diâmetro com dimensão de 45.58 cm, o qual está baseado na média dos valores de largura corporal dos homens e das mulheres;

- Adicionar Elevadores – O *software* Pathfinder permite criar elevadores no modelo de simulação, possibilitando, assim, a simulação das operações básicas destes em caso de evacuação. Esta opção permite definir os pisos com maior prioridade na evacuação, viabilizando, desta forma, a definição da ordem em que serão evacuados os pisos. O elevador está posicionado inicialmente no piso em que serão descarregados os ocupantes, movendo-se apenas do piso de descarga até ao piso com a prioridade mais elevada e deste até ao piso de descarga. Nesta movimentação, o elevador não efetua paragens nos restantes pisos, mesmo que tenha espaço para adquirir mais ocupantes. Esta movimentação é realizada apenas quando o ocupante solicita um elevador, para tal, o ocupante tem de estar posicionado a pelo menos 0.5 m da porta do elevador;
- Adicionar portas – As portas fornecem a possibilidade de conectar diferentes áreas, permitindo que os ocupantes se movimentem entre elas. Com esta funcionalidade é possível controlar o fluxo de pessoas que passa em cada porta;
- Adicionar escadas – As escadas são um elemento importante de conexão entre pisos, influenciando a velocidade de deslocação dos ocupantes consoante a sua inclinação;
- Escolher o modo de simulação – Neste software existem dois tipos de modos de simulação, sendo eles o SFPE (*Society of Fire Protection Engineers*) e o *Steering*. O modo SFPE é baseado nas suposições do manual da *Society of Fire Protection Engineers*, como tal, neste modo os ocupantes não procuram evitar o contacto entre si, podendo ocupar o mesmo espaço de outra pessoa. Neste modo, o fluxo e a velocidade dos ocupantes são controlados, respetivamente, pela dimensão das portas e pela densidade. O modo *Steering* é mais avançado e realista para a simulação da movimentação dos ocupantes. Este modo permite

modelar o comportamento complexo dos ocupantes, incluindo a escolha do caminho a seguir, com base na interação das pessoas e na prevenção de colisões.

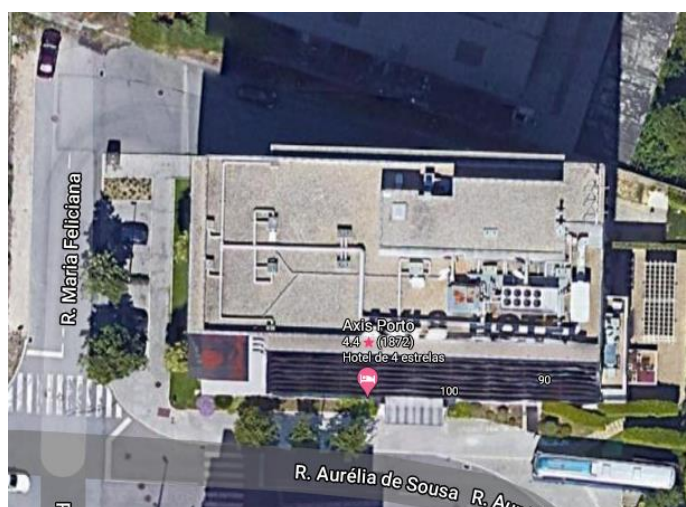
Para a construção do modelo de simulação, o *software* oferece a possibilidade de importar a arquitetura dos edifícios de ficheiros com formatos DXF, DWG, FDS e ficheiros PyroSim, o que diminui significativamente o tempo de construção do modelo de simulação (Thunderhead Engineering, 2014).



# 3. ESTRATÉGIAS DE EVACUAÇÃO NUM HOTEL DE 4 ESTRELAS

## 3.1 CONFIGURAÇÃO DO HOTEL DE 4 ESTRELAS EM ANÁLISE

Este estudo, como já foi referido no capítulo inicial, tem como objetivo a análise e a melhoria do processo de evacuação de um hotel. Como tal, foi escolhido um hotel do grupo Axis, localizado no Porto (São Mamede Infesta) na Rua Maria Felicidade, nº100 (Figura 2).



**Figura 2** Vista aérea e localização do Hotel Axis (Google, 2021).



O hotel Axis Porto (Figuras 2 e 3) é um hotel de 4 estrelas, inaugurado em março de 2009. O espaço do hotel encontra-se distribuído por 10 pisos (incluindo o piso 0), com 145 quartos, onde se incluem 16 suites Júnior, 4 suites sénior e 1 suite presidencial, spa com 3 salas de massagens e tratamento, piscina dinâmica, sauna, banho turco, duche sensorial, 1 restaurante com capacidade para 120 pessoas e 4 salas de reunião. O hotel é provido de dois elevadores para os clientes, cada um com capacidade para 8 pessoas, porém, no caso da ocorrência de uma emergência e consequente necessidade de evacuação do edifício, estes elevadores descem ao piso 0, ficando inutilizáveis. A entrada/saída pedestre do hotel é realizada pela porta principal localizada no piso 0, havendo ainda mais duas portas de saída de emergência para o exterior do edifício, uma localizada no piso 0 junto ao bar e outra localizada ao nível do piso 0, mas apenas acessível a partir do spa.



**Figura 3** Hotel Axis.

O número de ocupantes do hotel reporta-se aos funcionários que trabalham no hotel, aos clientes e aos funcionários das empresas externas, que eventualmente prestem serviços no Hotel Axis Porto. É importante referir que é difícil de determinar o número de pessoas que se encontra em cada momento no Hotel Axis Porto, uma vez que a quantidade de público não é determinável. Contudo, é possível afirmar que os 145 quartos permitem alojar no máximo 290 pessoas.

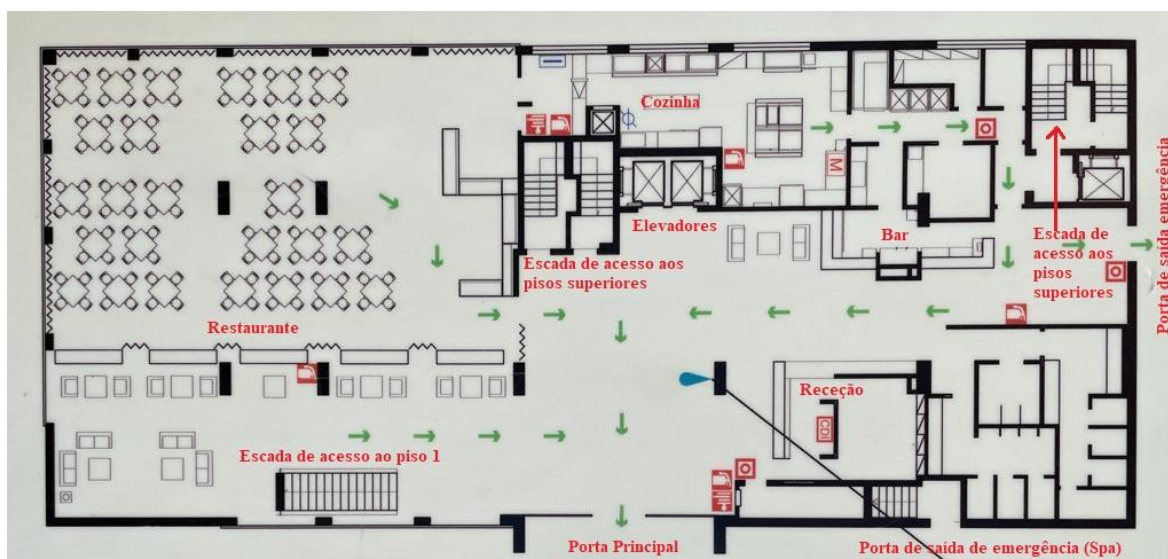
Como já foi referido, o hotel é constituído por 10 pisos, estando os quartos inseridos entre o piso 2 e o piso 9, o spa e salas de reuniões no piso 1 e a receção, restaurante e bar no piso 0. Do piso 2 ao piso 9 podemos observar três tipos de configurações dos pisos:

- Piso 2 ao piso 6 – Estes pisos são constituídos por 19 quartos, sendo dois deles suites juniores;
- Piso 7 ao piso 8 – Estes pisos são constituídos por 17 quartos, sendo quatro deles suites (duas suites júnior e duas suites normais);
- Piso 9 – Este piso é constituído por 16 quartos sendo três deles suites (duas suites júnior e uma suite presidencial).

Os pisos do hotel serão abordados com mais detalhe nos subcapítulos seguintes.

### 3.1.1 PISO 0

A configuração do piso 0 e os caminhos de evacuação (setas verdes) podem ser observados através da planta de emergência apresentada na Figura 4, na qual estão identificados os principais locais.



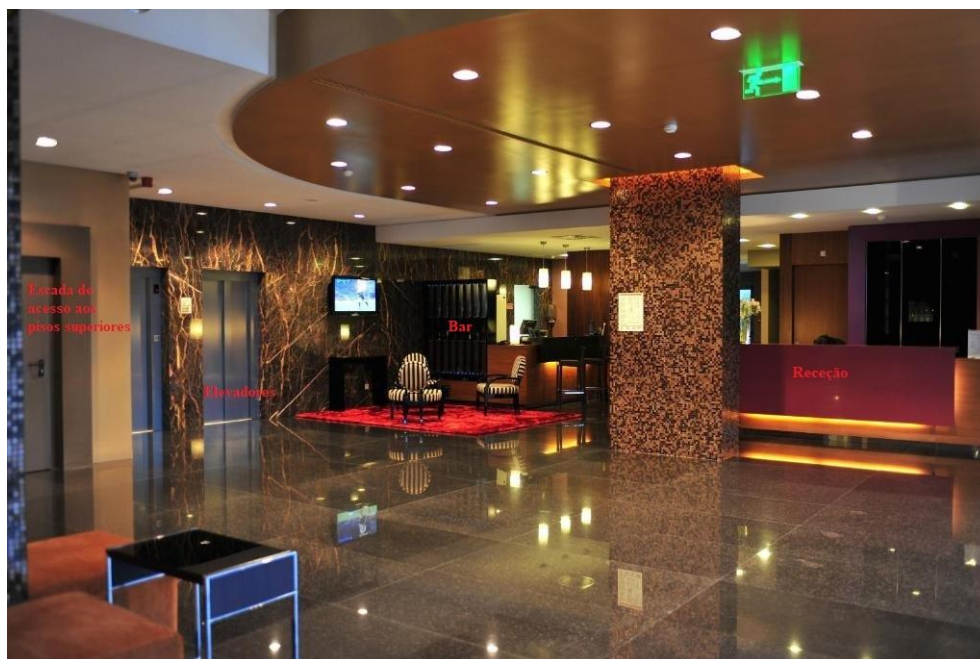
**Figura 4** Planta de emergência Hotel Axis – Piso 0.

A porta principal de entrada/saída do hotel faz a ligação entre a Rua Maria Feliciano e o interior do hotel, como é possível verificar através das Figuras 4 e 5.



**Figura 5** Porta de entrada/saída principal do hotel (vista do exterior do hotel).

O local da recepção, bar, elevadores e uma das escadas de acesso aos pisos superiores (escadaria localizada na parte central do hotel) do hotel podem ser observados na Figura 6.



**Figura 6** Recepção e hall do hotel.

Na Figura 7 é possível analisar o bar do hotel e ainda a porta de saída de emergência que se localiza junto a este. Esta porta pode ser verificada com mais detalhe na Figura 8.



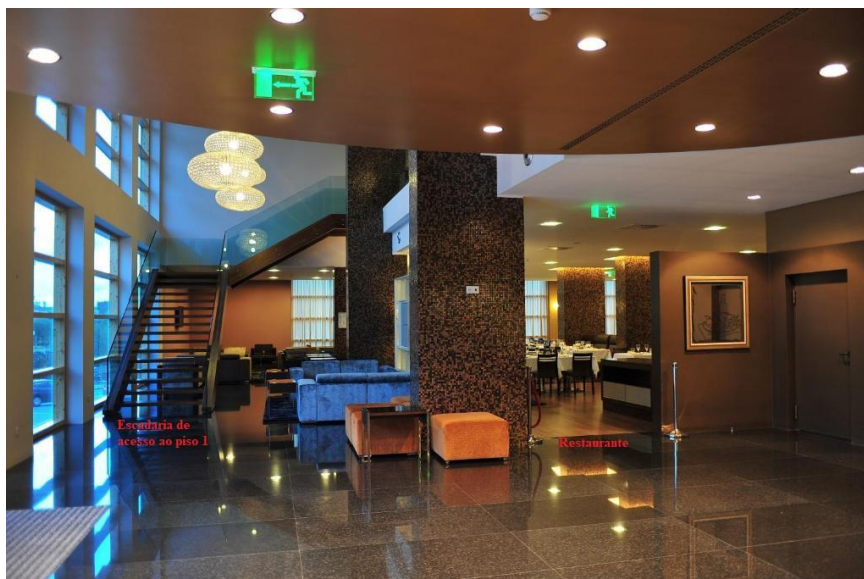


**Figura 7** Bar do hotel.

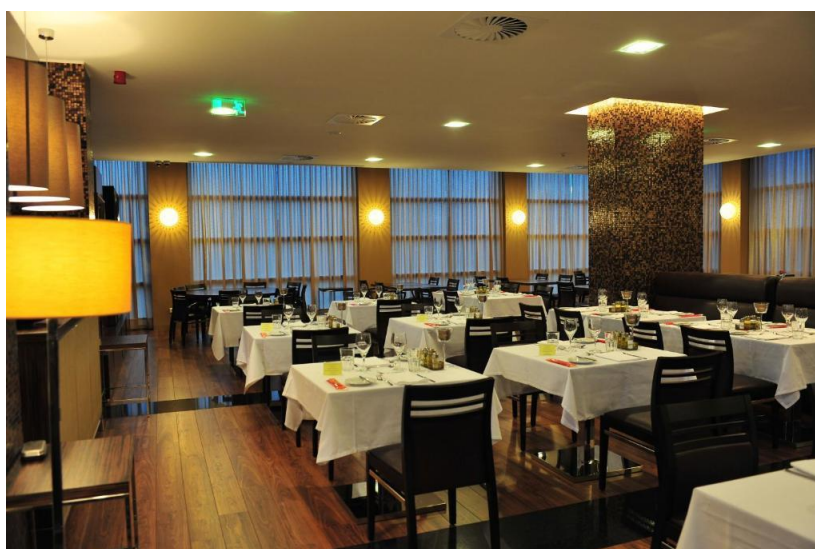


**Figura 8** Porta de saída de emergência localizada junto ao bar.

O restaurante do hotel, como já foi referido, tem capacidade para 120 pessoas e localiza-se junto à entrada do hotel. A entrada para o restaurante bem como a escadaria de acesso ao piso 1 pode ser observado na Figura 9. O interior do restaurante pode ser observado na Figura 10.



**Figura 9** Escadaria de acesso ao piso 1 e entrada do restaurante.



**Figura 10** Restaurante do hotel.

A cozinha do hotel localiza-se junto ao restaurante, sendo que nela trabalham diariamente 6 funcionários em cada turno. Nas Figuras 11 e 12 estão representados, respetivamente, o corredor de acesso à cozinha e uma parte da cozinha.



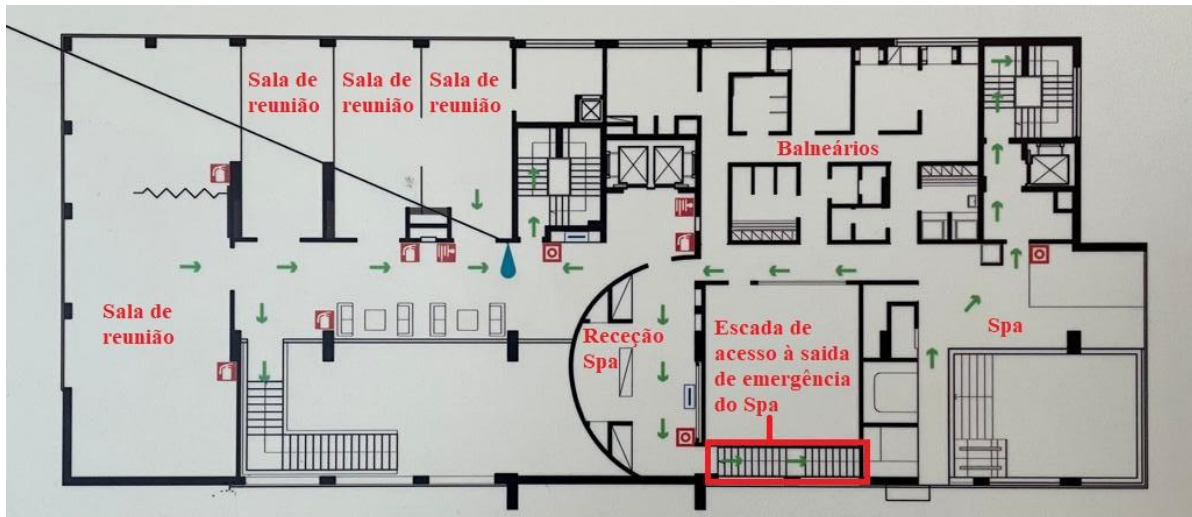
**Figura 11** Corredor de acesso à cozinha do hotel.



**Figura 12** Cozinha do hotel.

### 3.1.2 PISO 1

A configuração do piso 1 e os caminhos de evacuação (setas verdes) podem ser observados através da planta de emergência apresentada na Figura 13, na qual estão identificados os principais locais.

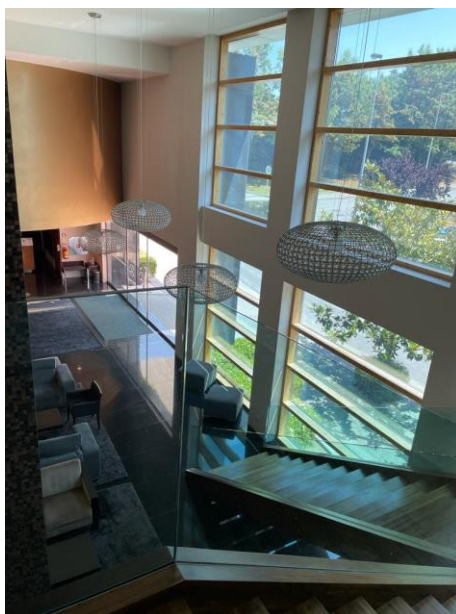


**Figura 13** Planta de emergência do Hotel Axis – Piso 1.

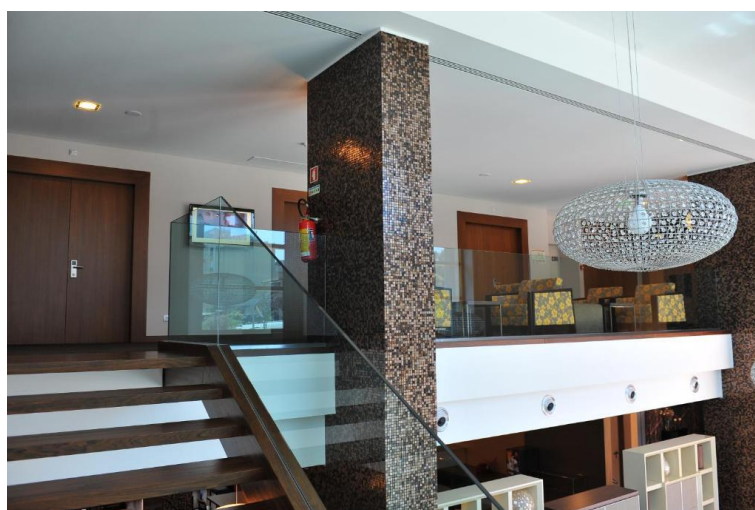
O acesso a este piso pode ser efetuado através dos elevadores, das escadas de acesso aos pisos superiores e da escada de acesso ao piso 1, tal como já tinha sido identificado na Figura 9.

Nas Figuras 14 e 15 é possível visualizar a chegada ao piso 1, através das escadas exclusivas para a conexão entre o piso 0 e 1. Através da Figura 15, é possível visualizar algumas das portas das salas de reunião.





**Figura 14** Escadas exclusivas de conexão entre o piso 0 e 1.



**Figura 15** Vista para uma parte do piso 1.

No final do corredor, que se pode visualizar na Figura 15 e na planta de emergência da Figura 13, encontra-se a porta de acesso à área do spa. Esta área é constituída por uma área de receção dos clientes, na qual trabalham normalmente um ou dois funcionários, pela piscina, suana, banho turco, jacuzzi e por um balneário.

Na Figura 16 é possível observar a porta de acesso à área da piscina, sauna, banho turco e jacuzzi.





**Figura 16** Porta de acesso à área da piscina, sauna, jacuzzi e banho tuco.

A área do Spa possui duas portas de saída de emergência, sendo uma junto à piscina, dando acesso as escadas posicionadas junto a lateral do hotel, como se pode visualizar na Figura 17 e na planta de emergência do piso 1 (Figura 13), e outra junto do final das escadas, que se encontram após passar a recepção, sendo a única das 3 portas de saída do hotel, acessível apenas pelo Spa, como se pode verificar pelas plantas de emergência do piso 0 e 1 (Figuras 4 e 13) e pelas Figuras 18 e 19.



**Figura 17** Área da piscina, sauna, jacuzzi e banho tuco.



**Figura 18** Escadas de acesso ao exterior do edifício localizadas após a área de recepção do Spa.

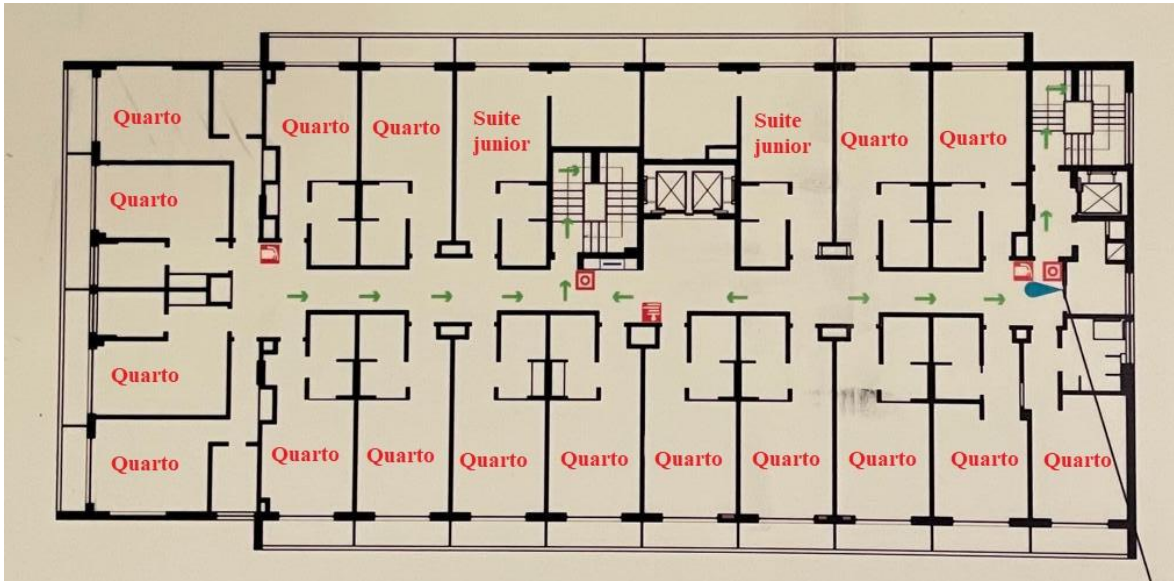


**Figura 19** Porta de acesso ao exterior do hotel apenas acessível pelo Spa.

### **3.1.3 PISO 2 AO PISO 6**

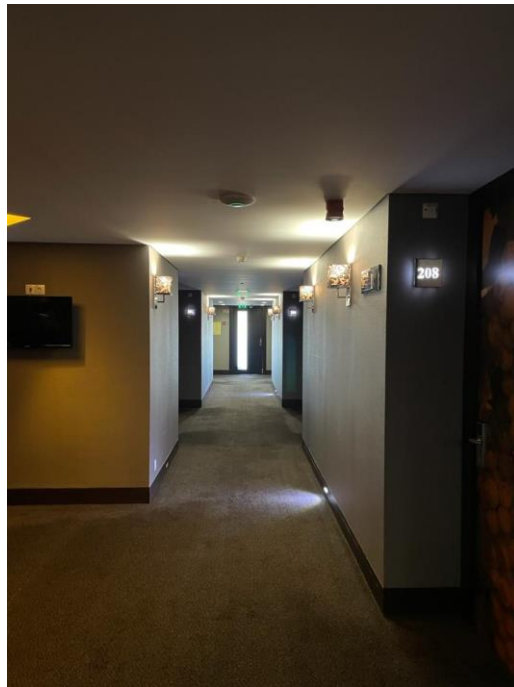
Como foi referido anteriormente, do piso 2 até ao piso 6, todos os pisos possuem a mesma configuração, como tal, irá ser realizada apenas a análise do piso 2.

A configuração do piso 2 e os caminhos de evacuação (setas verdes) podem ser observados através da planta de emergência apresentada na Figura 20, na qual estão identificados os principais locais.



**Figura 20** Planta de emergência do Hotel Axis – Piso 2.

Na Figura 21 é possível observar uma parte do corredor do piso 2 e o número de um dos quartos (208). Na Figura 22 observa-se outra parte do corredor do piso 2, sendo visível os blocos autónomos com a indicação da saída de emergência.

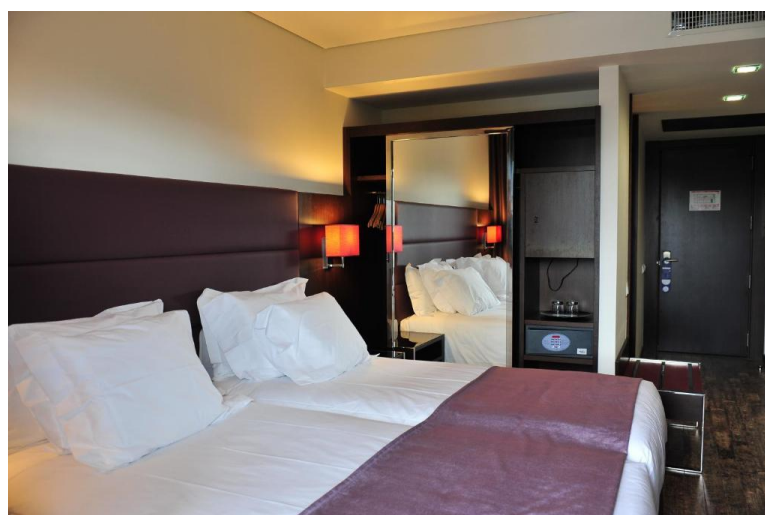


**Figura 21** Corredor do piso 2.



**Figura 22** Blocos autónomos no corredor do piso 2 com a indicação da saída de emergência.

Este piso contém 19 quartos, dos quais dois são suites juniores. Pela planta de emergência ilustrada na Figura 20 é possível verificar que todos os quartos normais têm a mesma configuração, o mesmo acontece com as suites juniores. As suites juniores têm uma configuração semelhante aos restantes quartos, tendo uma área maior, devido a conterem uma sala adicional. Estes dois tipos de quartos podem ser observados nas Figuras 23, 24 e 25.

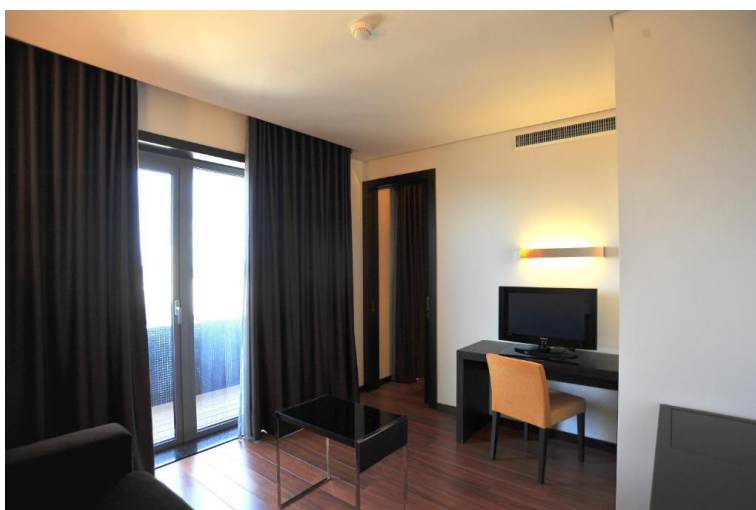


**Figura 23** Quarto do piso 2.





**Figura 24** Suite júnior do piso 2.

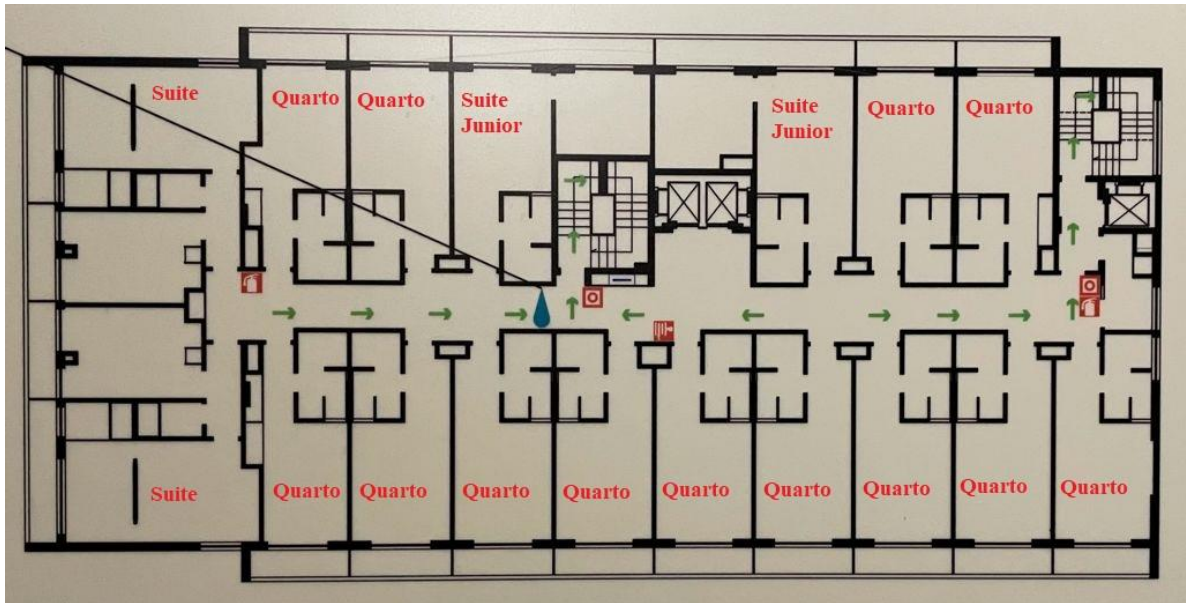


**Figura 25** Sala da suite júnior do piso 2.

### **3.1.4 PISO 7 E PISO 8**

Como foi referido anteriormente, o piso 7 e o piso 8 possuem a mesma configuração, como tal, irá ser realizada apenas a análise do piso 7.

A configuração do piso 7 e os caminhos de evacuação (setas verdes) podem ser observados através da planta de emergência apresentada na Figura 26, na qual estão identificados os principais locais.



**Figura 26** Planta de emergência do Hotel Axis – Piso 7.

Pela análise da planta de emergência ilustrada na Figura 26 é possível concluir que o piso 7 apresenta uma configuração semelhante à do piso 2 ao 6. Na parte esquerda da Figura 26 é possível observar a existência de 2 suites e não dos 4 quartos como acontece no piso 2 ao 6.

Com isto, este piso apresenta 17 quartos, dos quais dois são suites juniores e dois são suites.

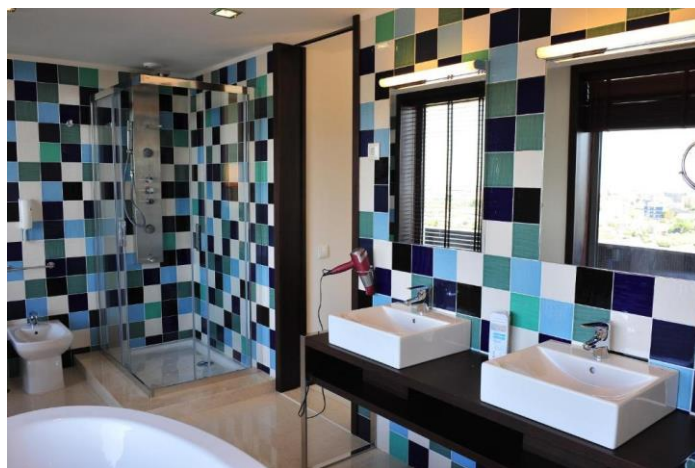
Nas Figuras 27, 28, 29 e 30 é apresentada uma das suites deste piso. Esta suite possui uma área maior que as suites juniores, uma vez que, além da sala adicional que as suites juniores já contêm, possui uma área maior na casa de banho devido a ter uma banheira de hidromassagem.



**Figura 27** Suite do piso 7.



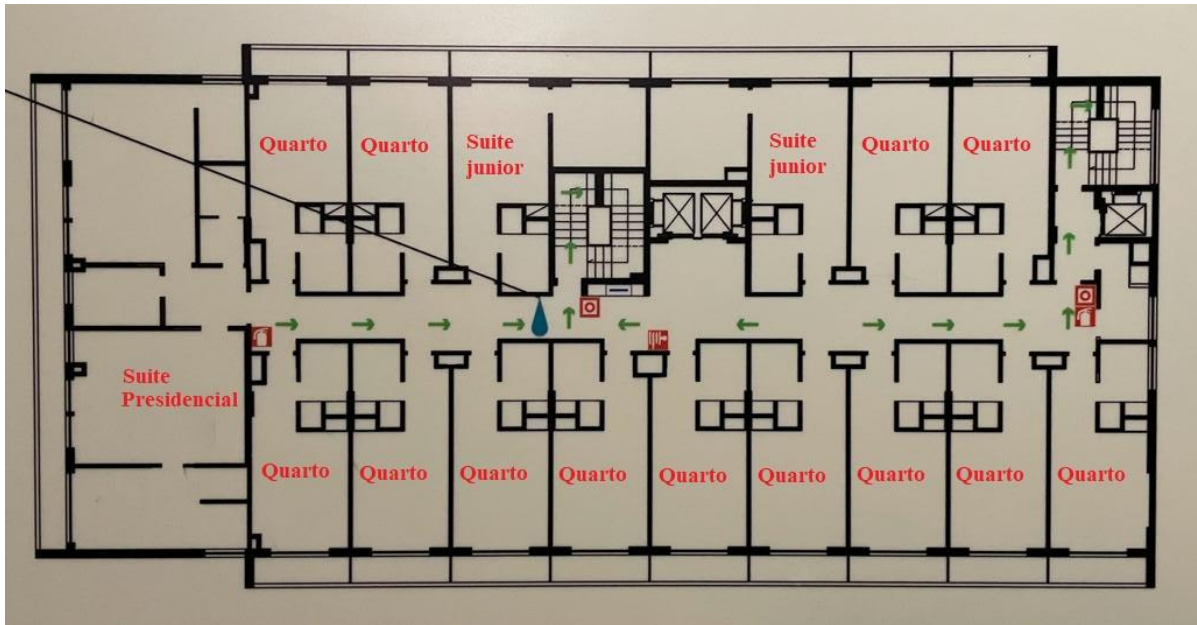
**Figura 28** Sala da suite do piso 7.



**Figura 29** Casa de banho da suite do piso 7.

### 3.1.5 PISO 9

A configuração do piso 9 e os caminhos de evacuação (setas verdes) podem ser observados através da planta de emergência apresentada na Figura 30, na qual estão identificados os principais locais.



**Figura 30** Planta de emergência do Hotel Axis – Piso 9.

Como é possível observar pela Figura 30, este piso tem uma configuração semelhante à dos restantes (piso 2 ao piso 8), sendo que a única diferença consiste na existência da suíte presidencial, como se pode visualizar na parte esquerdo da Figura 30.

Com isto, este piso tem um total de 16 quartos, dos quais dois são suítes júnior e uma suíte presidencial.

Nas Figuras 31, 32 e 33 é possível visualizar as principais áreas da suíte presidencial.





**Figura 31** Suite presidencial do piso 9.



**Figura 32** Sala da suite presidencial do piso 9.



**Figura 33** Casa de banho da suite presidencial do piso 9.

## 3.2 ESTUDO DE SIMULAÇÃO

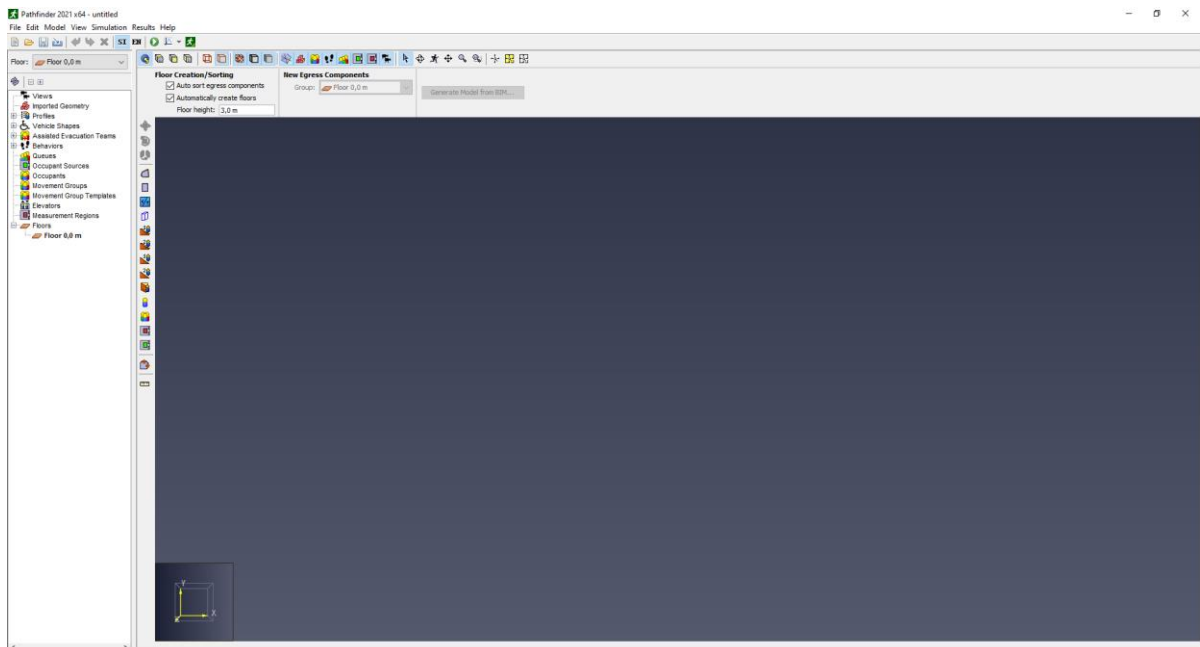
O estudo da evacuação de emergência do hotel foi realizado com recurso às simulações computacionais. Como já foi referido anteriormente, o *software* de simulação escolhido para realizar as simulações foi o Pathfinder.

Para a construção do modelo de simulação foi necessário realizar medições aos diversos espaços do hotel e recorrer às plantas de emergência disponíveis, por forma a que fosse possível criar o modelo de simulação com a arquitetura e dimensões corretas, uma vez que a gerência do hotel Axis não tinha disponível nenhum ficheiro com a arquitetura do hotel.

### 3.2.1 INTERFACE GRÁFICA E ANIMAÇÃO

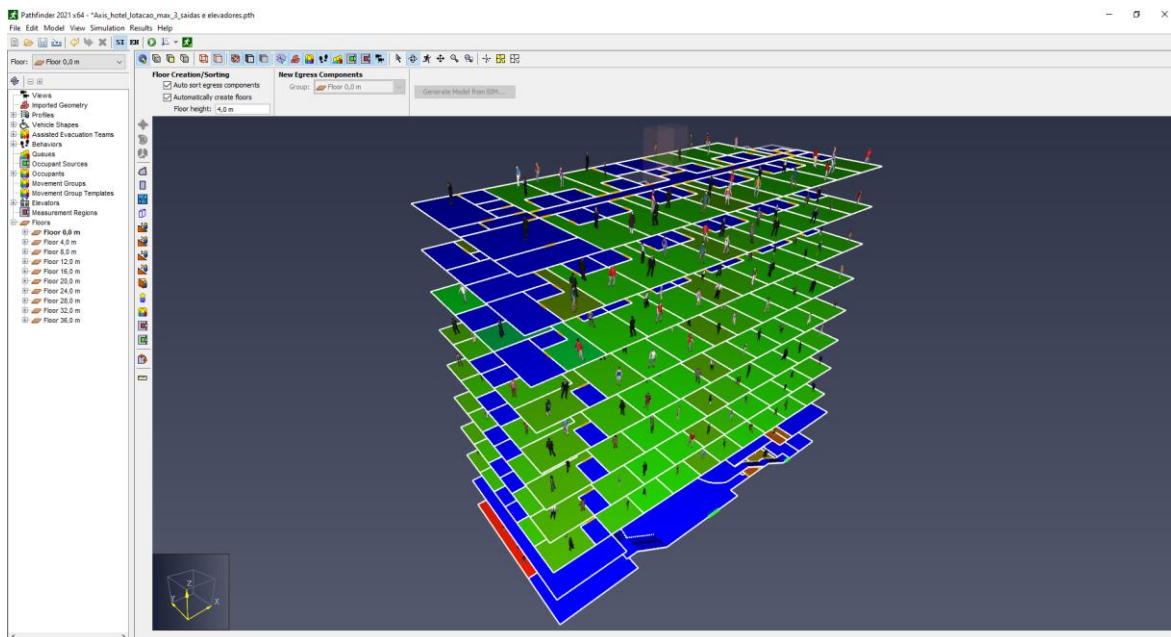
O *software* Pathfinder, como já referido anteriormente, apresenta uma interface gráfica em que o usuário tem a possibilidade de criar e executar modelos de simulação.

Na Figura 34 é apresentada uma captura de ecrã, onde é possível observar a interface gráfica do *software* Pathfinder, exibida inicialmente ao utilizador.



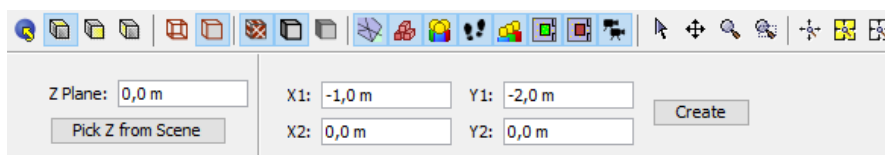
**Figura 34** Interface gráfica de entrada no Pathfinder.

Na Figura 35 é apresentado o modelo de simulação desenvolvido para o hotel, no modo de visualização 3D. No menu apresentado na parte esquerda da Figura 35 é possível observar o número de pisos deste modelo de simulação, bem como a posição vertical de cada um.

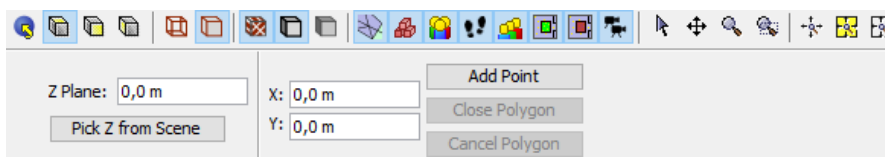


**Figura 35** Vista 3D do modelo de simulação do hotel.

Como já foi referido anteriormente, para o desenvolvimento do modelo de simulação foi necessário medir os diversos espaços do hotel. Após recolhidas as medições foi possível começar a contruir as diversas áreas do hotel, com o auxílio das funcionalidades do Pathfinder. As ferramentas “*Add a Rectangular Room*” e “*Add a Polygonal Room*” do Pathfinder permitem criar áreas com dimensões definidas pelo utilizar, tal como é possível visualizar nas Figuras 36 e 37, possibilitando assim a criação das áreas do hotel.

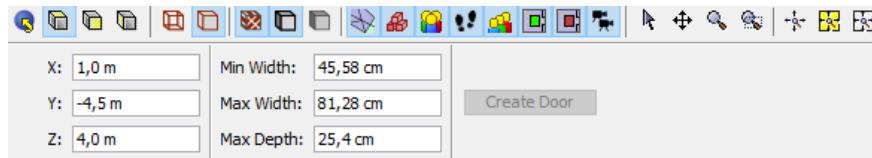


**Figura 36** Criar uma área retangular no Pathfinder.



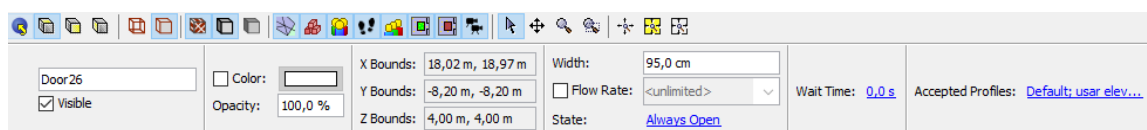
**Figura 37** Criar uma área poligonal no Pathfinder.

Após criada uma determinada área é necessário adicionar as portas. Para isso, é utilizada a ferramenta “*Add a New Door*”, que possibilita escolher a posição da porta e a sua dimensão, tal como é possível observar na Figura 38.



**Figura 38** Criar uma porta no Pathfinder.

Após criada a porta é possível configurar parâmetros como a sua dimensão, estado da porta (aberto, fechado e aberto apenas num sentido), tempo de espera para os ocupantes poderem prosseguir pela mesma, taxa de fluxo dos ocupantes, indicar os perfis autorizados a passar pela porta, etc., tal como é possível analisar na Figura 39.



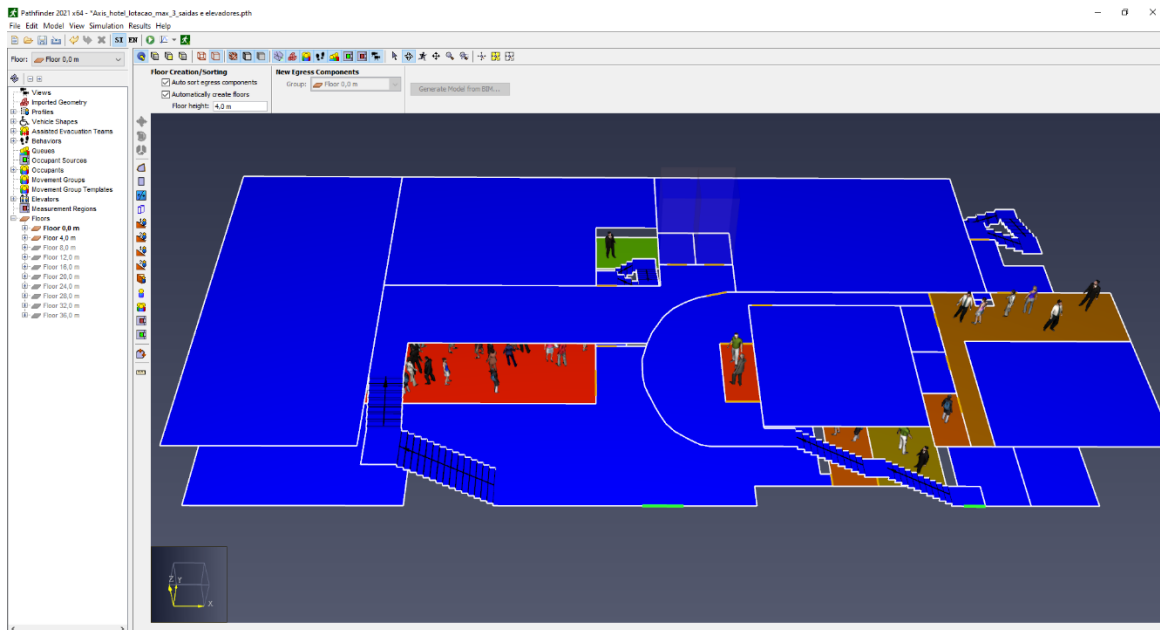
**Figura 39** Configurar parâmetros das portas no Pathfinder.

Na Figura 40 é possível visualizar o piso 0 do modelo de simulação do hotel na vista 2D. Como é possível observar na Figura 40 existem áreas com diferentes cores, uma vez que o *software* permite atribuir cores às áreas consoante a sua densidade ocupacional. Por outro lado, as linhas laranjas nas extremidades das áreas correspondem às portas que conectam diferentes áreas e as linhas verdes às portas de saída do edifício.



**Figura 40** Vista 2D do piso 0 do modelo de simulação do hotel.

Na Figura 40 podemos também observar as escadas que foram criadas no modelo de simulação. A direção da seta indica o sentido ascendente das escadas, tal como é possível verificar na Figura 41. Tal como referido anteriormente, as escadas são um dos elementos de conexão entre os diversos pisos, portanto para inserir este elemento foi necessário utilizar a ferramenta “*Create stairs by choosing one point on an edge*”, a qual permite definir parâmetros como a posição das escadas, o número de degraus, largura das escadas, etc., como é possível observar na Figura 42.

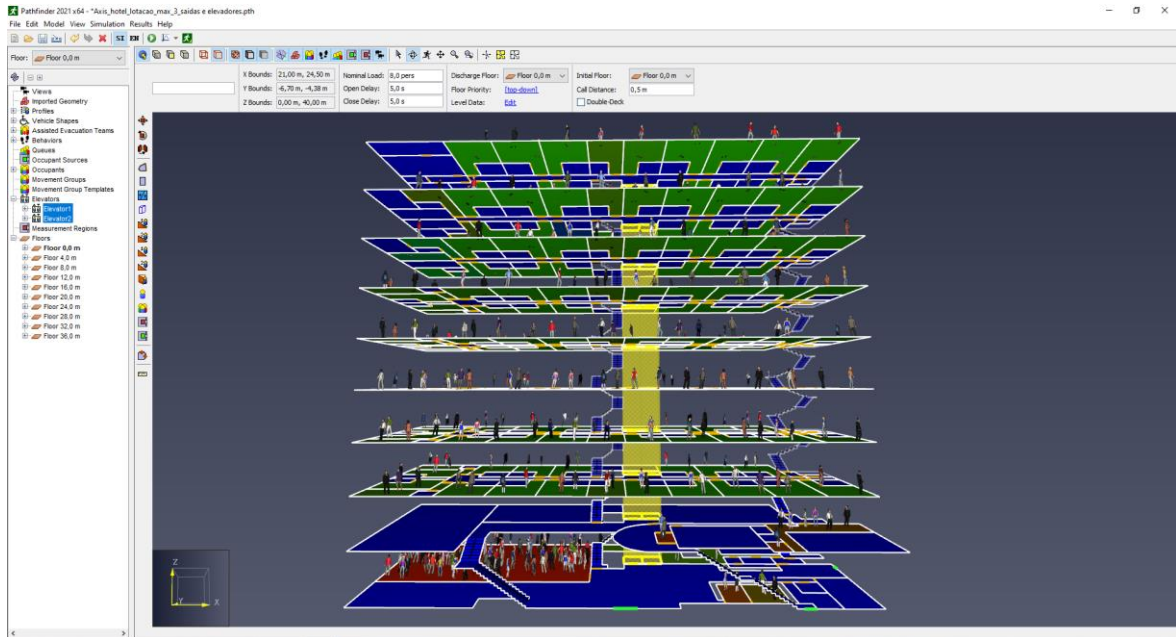


**Figura 41** Vista 3D do piso 0 e piso 1 do modelo de simulação do hotel.

X: 0.0 m	Stair Width: 121.92 cm	Tread Rise: 17.78 cm	<input checked="" type="radio"/> Step Count: 17.0	<input type="radio"/> Total Run: 5.0 m
Y: 3.0 m	Door1 Width: STAIR_WIDTH	Tread Run: 27.94 cm	<input type="radio"/> Total Rise: 10.0 m	<input type="radio"/> Total Length: 5.0 m
Z: 0.0 m	Door2 Width: STAIR_WIDTH		<input type="button" value="Create"/>	

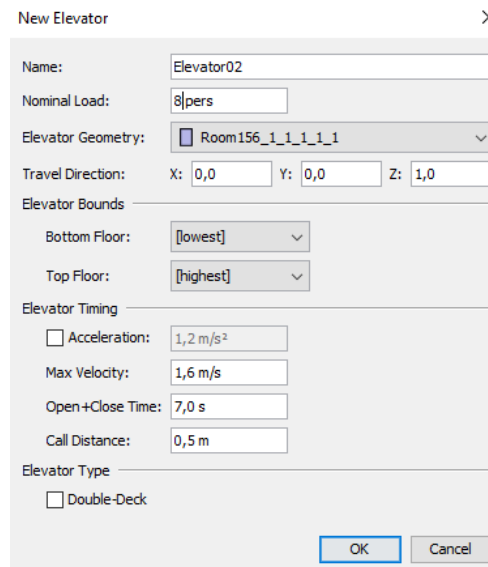
**Figura 42** Configurar os parâmetros das escadas no Pathfinder.

Os elevadores são outro elemento de conexão entre os diversos pisos e podem ser observados na Figura 43, estando sinalizado a amarelo o poço de ambos os elevadores.



**Figura 43** Elevadores do modelo de simulação do hotel.

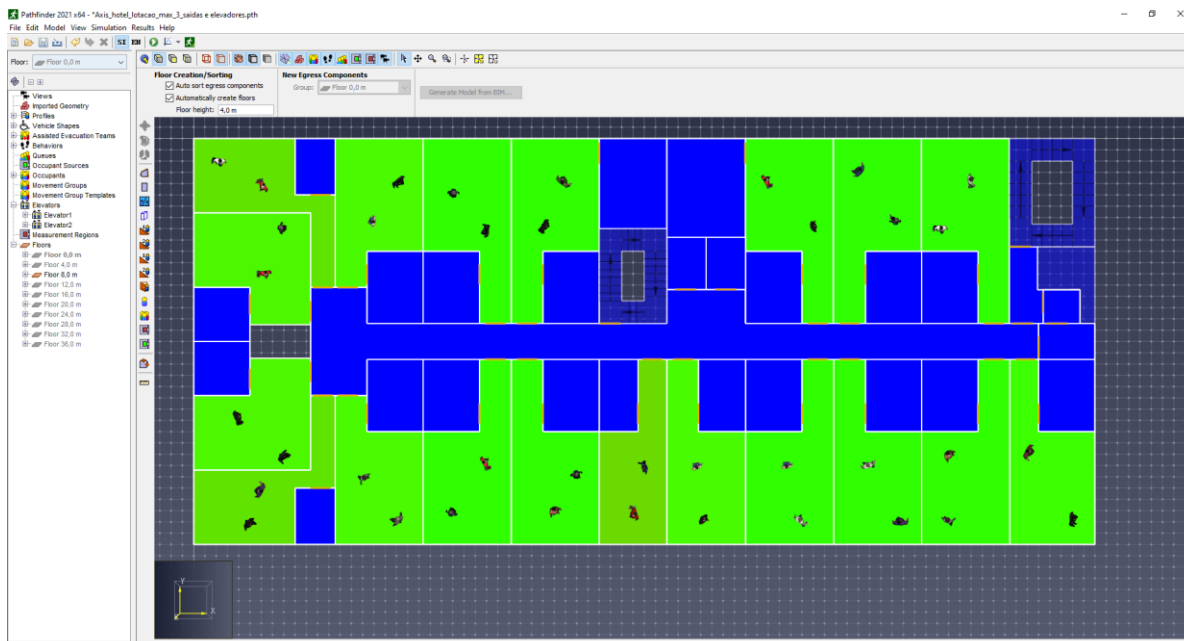
De modo a criar estes elevadores, foi necessário criar as áreas com as devidas dimensões e, de seguida, utilizar a ferramenta “*Create Elevator*”. Esta ferramenta permite definir parâmetros como a capacidade máxima, velocidade máxima, tempo de abertura e fecho das portas, etc., tal como é possível observar na Figura 44. Todos os parâmetros foram colocados de acordo com a marca e modelo do elevador (Enor Trivium, 8 pessoas de capacidade).



**Figura 44** Criar elevadores no Pathfinder.

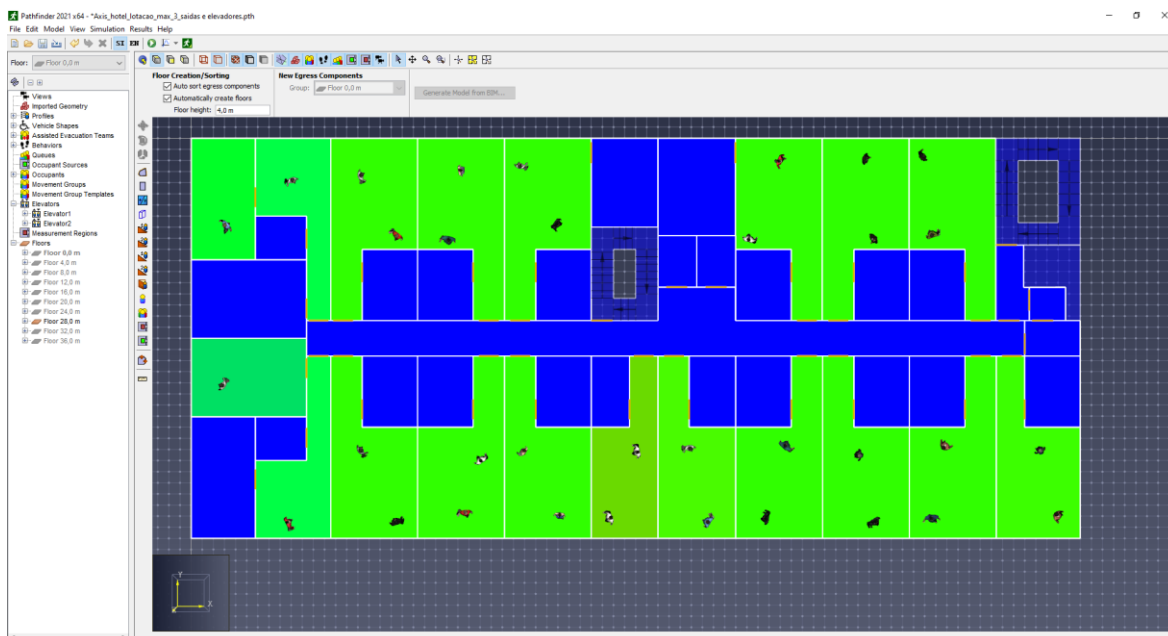
Na Figura 45 é possível visualizar o piso 2 desenvolvido no modelo de simulação. Este piso foi replicado até ao piso 6, tal como acontece na arquitetura real do hotel.





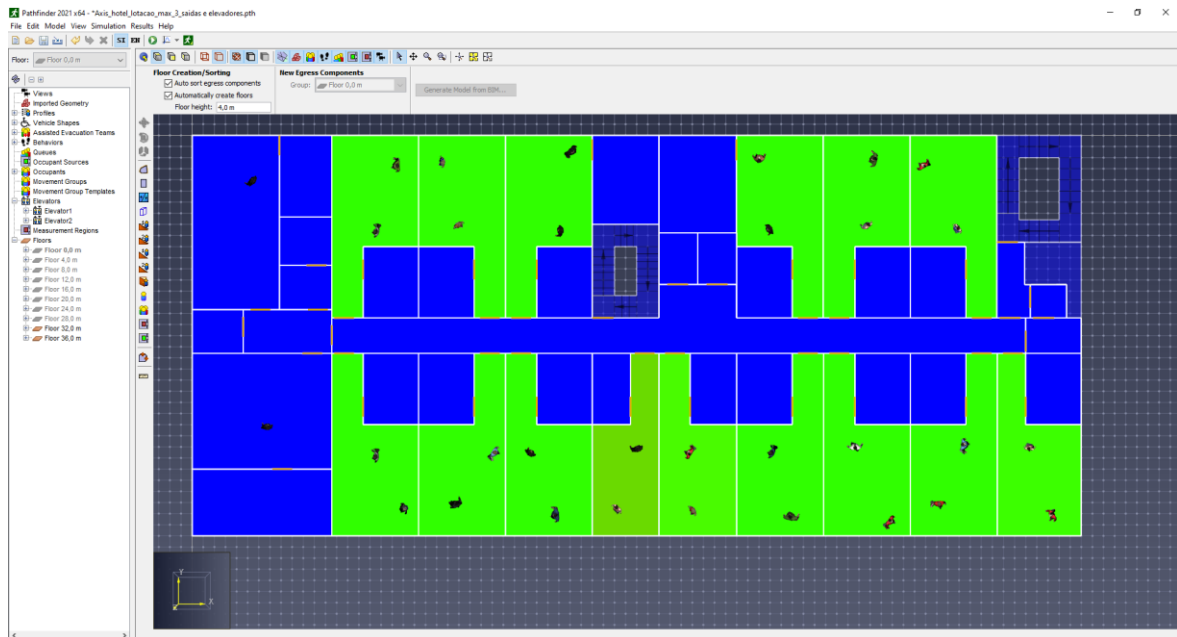
**Figura 45** Piso 2 do modelo de simulação do hotel.

Os pisos 7 e 8 são iguais entre si, diferindo do piso 2 exclusivamente porque contêm duas suites, tal como é possível observar na parte esquerda do modelo de simulação do hotel, apresentado na Figura 46.



**Figura 46** Piso 7 do modelo de simulação do hotel.

O piso 9 do modelo de simulação do hotel é apresentado na Figura 47. Nesta figura é possível observar a suite presidencial, na parte esquerda do modelo, sendo esta a única diferença para os restantes pisos (piso 2 ao piso 8).

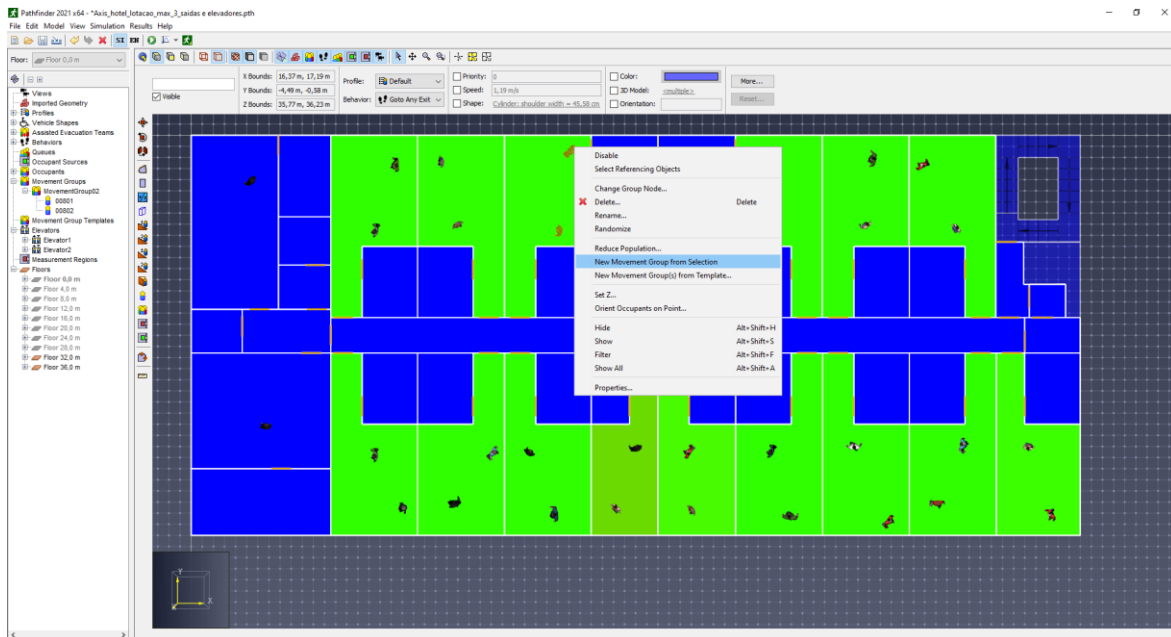


**Figura 47** Piso 9 do modelo de simulação do hotel.

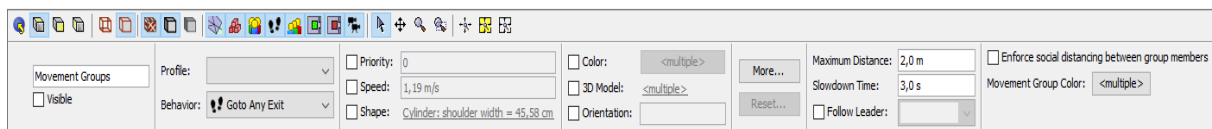
Os ocupantes do hotel podem ser adicionados através da ferramenta “*Add an Occupant*”, a qual permite adicionar exclusivamente um ocupante, ou então através da ferramenta “*Add Occupants to a Rectangle*”, a qual permite adicionar, numa área, um determinado número de ocupantes definido pelo usuário.

Os ocupantes podem posteriormente serem adicionados a grupos, sendo que esta funcionalidade permite simular a movimentação de pessoas com algum tipo de laço social, uma vez que todas elas seguem o mesmo percurso, mantendo uma distância máxima entre si que pode ser definida pelo usuário. Para tal, é necessário selecionar todos os ocupantes que se pretende adicionar a um grupo e em seguida utilizar a ferramenta “*New Movement Group From Selection*”, tal como é possível visualizar na Figura 48. Após o grupo ser criado é necessário configurar diversos parâmetros, entre eles a distância máxima entre as pessoas do grupo, perfil, comportamento, etc., tal como é possível observar na Figura 49. Esta funcionalidade foi utilizada para as duas pessoas inseridas em cada quarto, do piso 2 ao 9, uma vez que foi considerado que essas duas pessoas contêm laços familiares entre si, como tal, necessitam estar adicionadas em grupos.



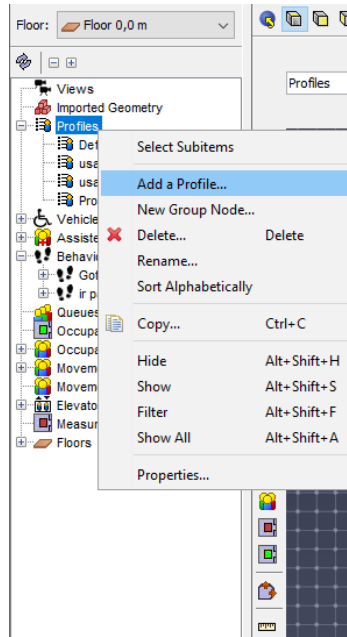


**Figura 48** Adicionar ocupantes a um grupo no Pathfinder.

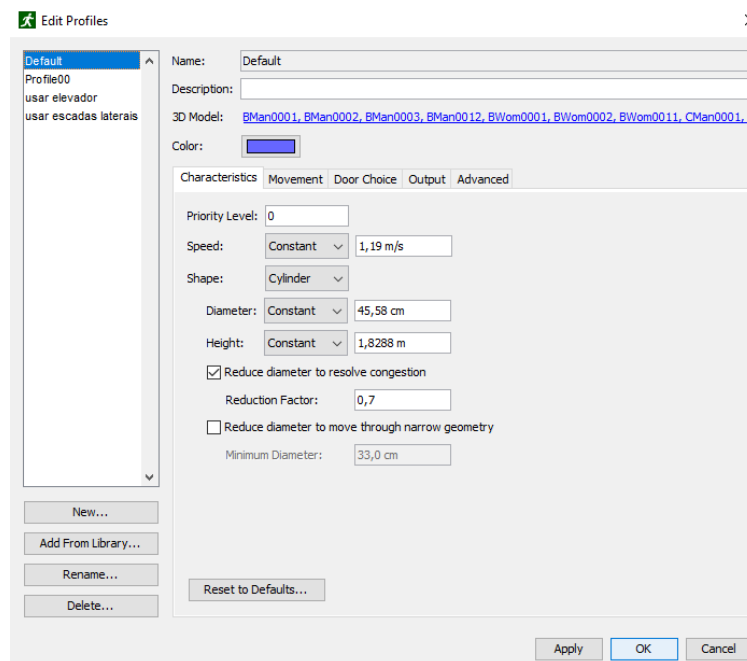


**Figura 49** Configurar parâmetros dos grupos no Pathfinder.

Cada ocupante necessita de estar associado a um perfil, como tal, através da ferramenta “*Add a Profile...*” é possível criar perfis, tal como é possível visualizar na Figura 50. Após criado o perfil, com a ferramenta “*Edit Profiles...*”, é possível configurar o perfil de acordo com as necessidades da simulação. Na Figura 51 é apresentado um dos perfis criados, onde as características que são apresentadas foram replicadas para os restantes perfis. A diferença entre os perfis criados reside na movimentação, uma vez que os cenários simulados exigem que certos perfis não tenham permissão para utilizar determinadas portas e caminhos (irá ser abordado com mais detalhe nos subcapítulos das estratégias de evacuação).

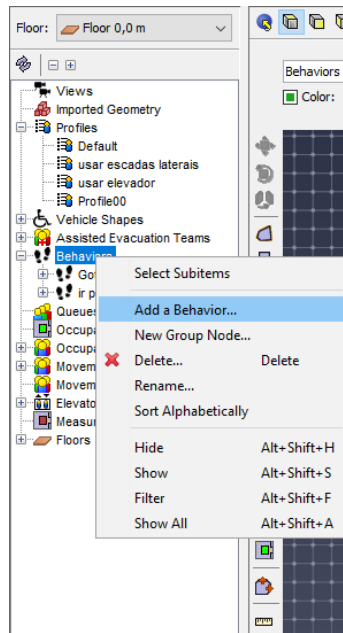


**Figura 50** Criar perfis no Pathfinder.

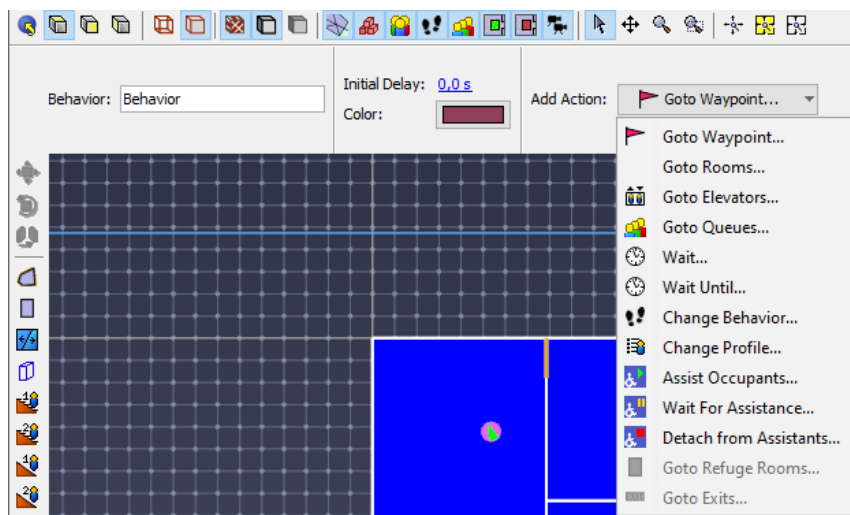


**Figura 51** Configurar perfis no Pathfinder.

Com os perfis dos ocupantes criados é necessário indicar qual será o comportamento dos ocupantes na simulação. Através da ferramenta “*Add a Behavior...*” é possível criar vários tipos de comportamentos, tal como é possível observar nas Figuras 52 e 53.

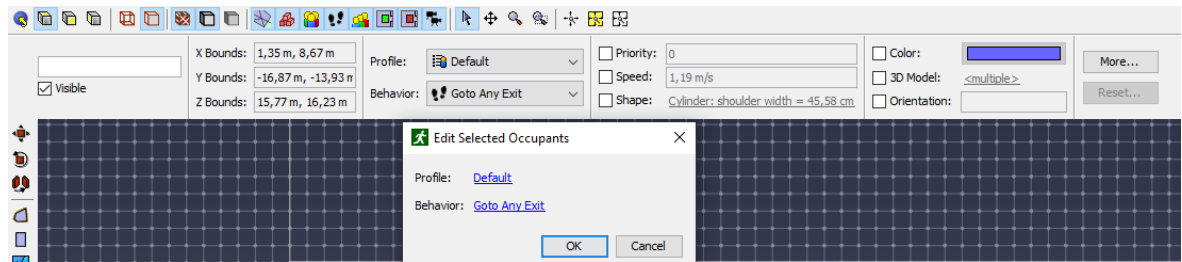


**Figura 52** Criar comportamentos no Pathfinder.



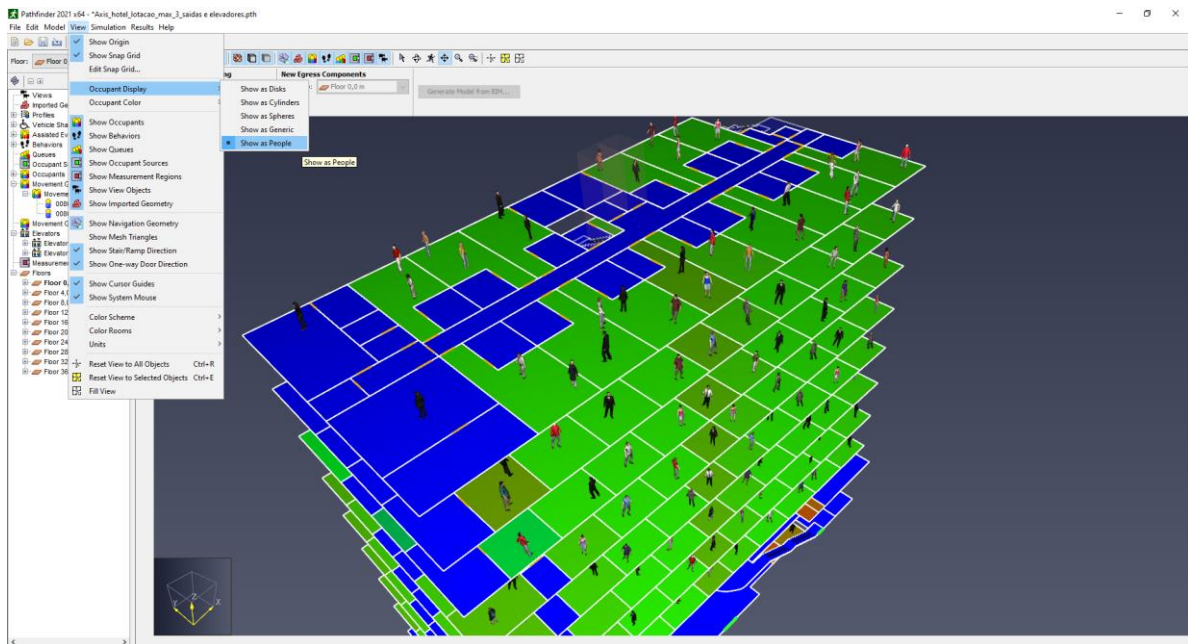
**Figura 53** Selecionar o tipo de comportamento no Pathfinder.

Após os perfis e os comportamentos estarem criados, é necessário associá-los aos ocupantes; para tal, após selecionar no *software* os ocupantes pretendidos, para um determinado perfil e comportamento, a associação é realizada através da barra de ferramentas ou da ferramenta “*Edit Selected Occupants*” (Figura 54).



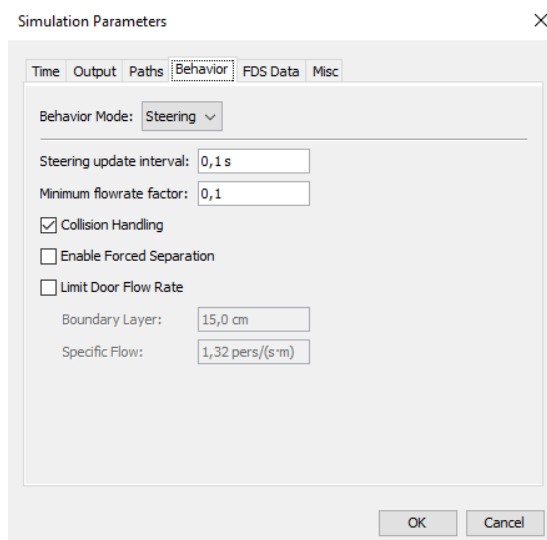
**Figura 54** Associar os ocupantes a perfis e comportamentos Pathfinder.

Em termos de visualização do modelo, o Pathfinder oferece diversas funcionalidades, entre elas a possibilidade de os ocupantes estarem representados como pessoas (Figura 55).



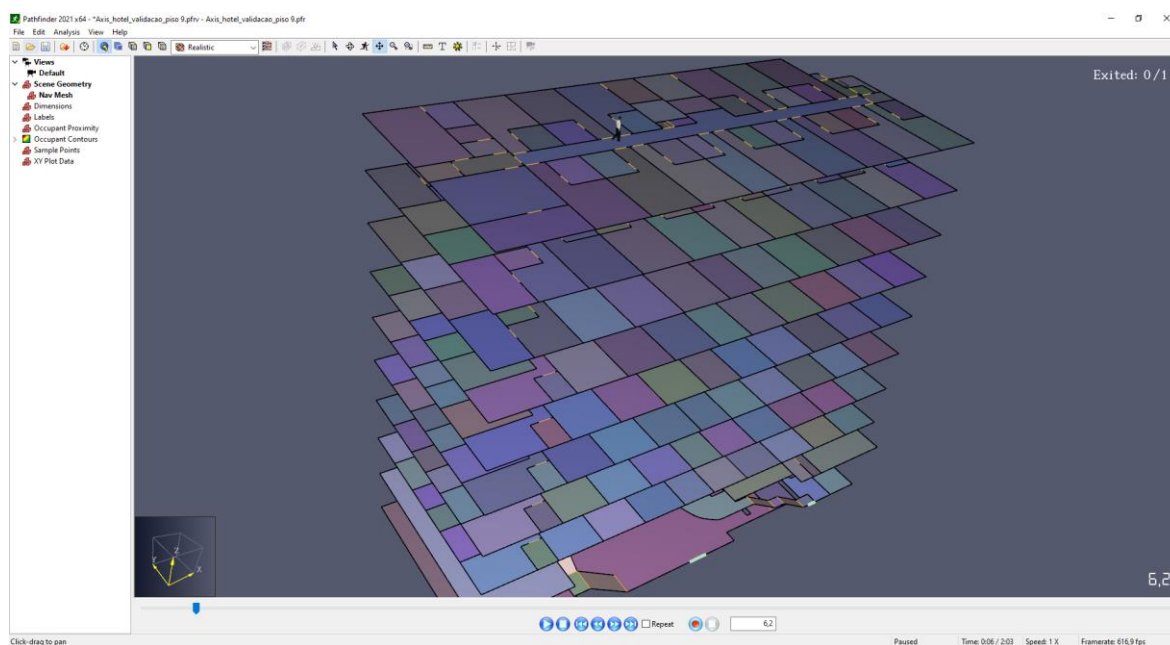
**Figura 55** Visualizar os ocupantes como pessoas no Pathfinder.

Após construído o modelo, é necessário definir o modo de simulação. Como já foi referido, existem dois modos possíveis, o SFPE e o *Steering*. Neste trabalho foi utilizado o modo *steering*, uma vez que é mais avançado e realista para a simulação da movimentação dos ocupantes. Esta configuração é realizada nos parâmetros de simulação do Pathfinder, tal como é possível analisar na Figura 56.



**Figura 56** Definir o modo *Steering* no Pathfinder.

Após executada a simulação, o *software* fornece uma visualização 3D, em tempo real, dos resultados da simulação, como é possível analisar na Figura 57. O modo de operação é semelhante a um programa de multimédia, permitindo ao usuário a capacidade de começar e parar a reprodução, aumentar e diminuir a velocidade de reprodução, voltar a reproduzir, navegar pelo modelo 3D, verificar a duração total da simulação, etc.



**Figura 57** Visualização 3D dos resultados da simulação.

### 3.2.2 VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE APOIO À DECISÃO DESENVOLVIDO

Para realizar a validação do modelo de simulação desenvolvido, foi necessário comparar o tempo de uma evacuação real, com o tempo de uma evacuação resultante da simulação do modelo no *software* Pathfinder.

Deste modo, foi cronometrado, na realidade, o tempo que um ocupante levaria a deslocar-se de um determinado ponto até a uma determinada saída do hotel e, de seguida, esse tempo foi comparado com o tempo obtido para a mesma deslocação, através da simulação no Pathfinder. A deslocação do ocupante inicia-se imediatamente após o começo da cronometragem, na qual o ocupante procurou manter uma velocidade constante ao longo de todo o percurso. Nos casos em que foi necessário utilizar os elevadores, no momento em que foi pressionado o botão de chamada, estes encontravam-se no piso 0, à semelhança do que acontece no modelo de simulação.

Esta comparação foi realizada em alguns pontos do hotel, com e sem a utilização de elevadores, tal como é possível analisar na Tabela 3.

**Tabela 3** Comparação dos tempos de evacuação (simulação real e computacional).

Localização inicial do ocupante	Simulação real (Tempo de evacuação em segundos)	Simulação Computacional (Tempo de evacuação em segundos)	Erro Percentual
Piso 9 (Sem elevador)	127,0 s	123,0 s	0,03%
Piso 9 (Com elevador)	86,0 s	90,0 s	0,04%
Piso 7 (Sem elevador)	102,0 s	101,0 s	0,01%
Piso 5 (Sem elevador)	83,0 s	81,0 s	0,02%
Piso 5 (Com elevador)	75,0 s	69,0 s	0,08%
Piso 4 (Sem elevador)	65,0 s	67,0 s	0,03%
Piso 3 (Sem elevador)	58,0 s	54,0 s	0,07%
Piso 1 (Spa)	18,0 s	19,0 s	0,06%
Piso 0 (Restaurante)	17,0 s	19,0 s	0,10%

Como é possível verificar pela Tabela 3, não existe uma dispersão significativa dos tempos de evacuação, tendo sido obtido um erro percentual médio de aproximadamente 0,05%. Estes resultados permitiram concluir que o modelo desenvolvido é válido.

### **3.2.3 ANÁLISE DE ESTRATÉGIAS DE EVACUAÇÃO**

Por forma a analisar e melhorar o processo de evacuação do hotel foi realizado um estudo de simulação de diferentes estratégias de evacuação, para um total de 429 ocupantes do hotel. Estas estratégias baseiam-se na utilização de determinadas saídas de evacuação, na orientação dos ocupantes em direção às saídas de emergência e no estado de funcionamento dos elevadores. Cada estratégia permite aos ocupantes evacuarem através de um determinado número de saídas (uma, duas ou três saídas), podendo esta evacuação ser orientada ou não, ou seja, os ocupantes podem ser direcionados para determinados caminhos de evacuação ou elevadores, ou então, os ocupantes não têm qualquer tipo de orientação, evacuando pelo caminho mais curto em direção a uma saída de emergência. Estas estratégias serão abordadas com mais detalhe nos subcapítulos seguintes.

Como tal, com recurso ao modelo desenvolvido, foram inseridos e alterados parâmetros do modelo de simulação, consoante as necessidades de cada estratégia, destacando-se os seguintes:

- Número total de ocupantes – Foram inseridos 429 ocupantes do hotel, 120 pessoas no restaurante, 290 pessoas nos quartos, 6 funcionários na cozinha, 2 funcionários na receção, 2 funcionários no escritório, 2 funcionários na receção do Spa e 7 pessoas no Spa. Desta forma, foi possível simular a lotação máxima para o restaurante, quartos e cozinha, sendo que nos restantes espaços foram inseridos uma média de ocupantes, conforme informações reunidas junto dos responsáveis do hotel.
- Formação de grupos de movimentação – Como já referido anteriormente, em todos os quartos do hotel foram inseridos dois ocupantes, sendo que foi considerado que estes contêm um laço social entre si. Como tal, foram criados 145 grupos (um grupo por cada quarto), por forma a que a movimentação destas pessoas seja simulada com a existência de um laço familiar entre si.

- Criação de perfis e comportamentos – Os perfis e comportamentos foram criados de acordo com as exigências de cada estratégia, sendo que serão abordados nos subcapítulos seguintes.
- Elevadores – Os dois elevadores foram configurados de acordo com as necessidades das estratégias de evacuação, podendo a sua utilização estar disponível ou indisponível, consoante o seu estado de funcionamento. Nos casos em que os elevadores estão em funcionamento foi necessário eliminar os grupos de movimentação criados, uma vez que, estes causavam anomalias na simulação. A situação foi reportada à empresa detentora do *software*, os quais admitiram a existência de uma incompatibilidade na utilização de elevadores e grupos de movimentação no mesmo modelo de simulação, no entanto, garantiram que as equipas de desenvolvimento estariam a trabalhar no sentido de resolver a situação. Os elevadores inicialmente estão posicionados no piso 0, sendo este o piso de descarga de todos os cenários (Figura 58) exceto naqueles em que a única saída disponível é a porta de saída do spa. Neste caso, o piso de descarga é alterado para o piso 1, uma vez que, a saída neste cenário é apenas acessível pelo piso 1. A prioridade de evacuação dos pisos decrescente (do piso 9 até ao 1).
- Portas de saída do hotel – As três portas de saídas são configuradas de acordo com as necessidades das estratégias de evacuação, podendo estar disponíveis ou indisponíveis para a saída dos ocupantes do hotel.

Elevators	Nominal Load:	8,0 pers	Discharge Floor:	Floor 0,0 m	Initial Floor:	Floor 0,0 m
	Open Delay:	5,0 s	Floor Priority:	<a href="#">[top-down]</a>	Call Distance:	0,5 m
	Close Delay:	5,0 s	Level Data:	<a href="#">Edit</a>	<input type="checkbox"/> Double-Deck	

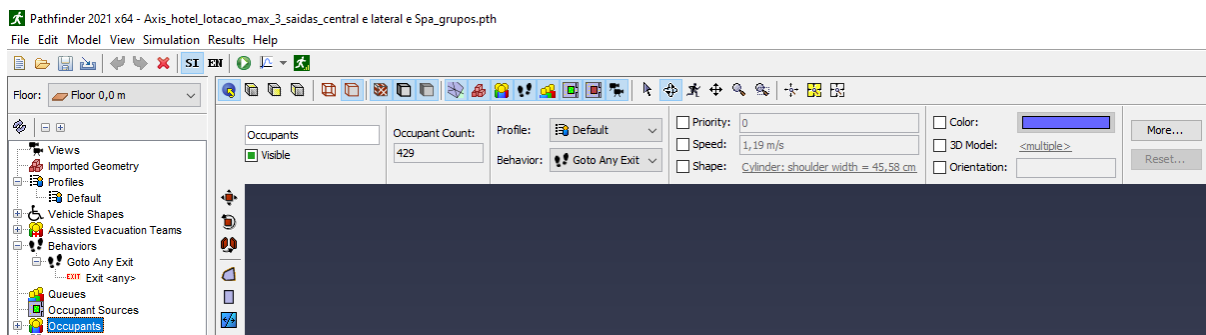
**Figura 58** Configurações do posicionamento, prioridades e piso de descarga dos elevadores.

Nas simulações realizadas, os ocupantes iniciam imediatamente a evacuação, como tal, foi necessário ter em consideração o tempo de pré-movimentação, uma vez que, na realidade, os ocupantes dos edifícios, após ativado o alarme de emergência, não iniciam imediatamente a evacuação. Tal como referido no subcapítulo 2.3.2, o tempo de pré-movimentação para hotéis onde as orientações de evacuação são dadas através de mensagens de voz pré-gravadas e/ou sinalética de evacuação é de cerca de 240 segundos. Deste modo, foi necessário somar este tempo aos tempos obtidos nas simulações realizadas, por forma a se obter o tempo total de evacuação.



### 3.2.3.1 ESTRATÉGIA 1 – CENÁRIO COM 3 SAÍDAS DO HOTEL DISPONÍVEIS, SEM ORIENTAÇÃO (COM E SEM ELEVADORES)

A estratégia 1 permite a evacuação dos 429 ocupantes pelas três portas de saída do hotel (saída central, lateral e do Spa), sem qualquer tipo de orientação, desta forma, os ocupantes não têm de seguir um determinado caminho de evacuação, realizando a evacuação pelo caminho mais curto em direção a uma saída. Como tal, nesta estratégia, foi atribuído a todos os ocupantes o mesmo comportamento (“Go to Any Exit”), tal como é possível verificar na Figura 59. Com este comportamento, os ocupantes decidem qual o melhor percurso em direção ao seu objetivo (sair do hotel).



**Figura 59** Comportamento atribuído aos ocupantes na estratégia 1.

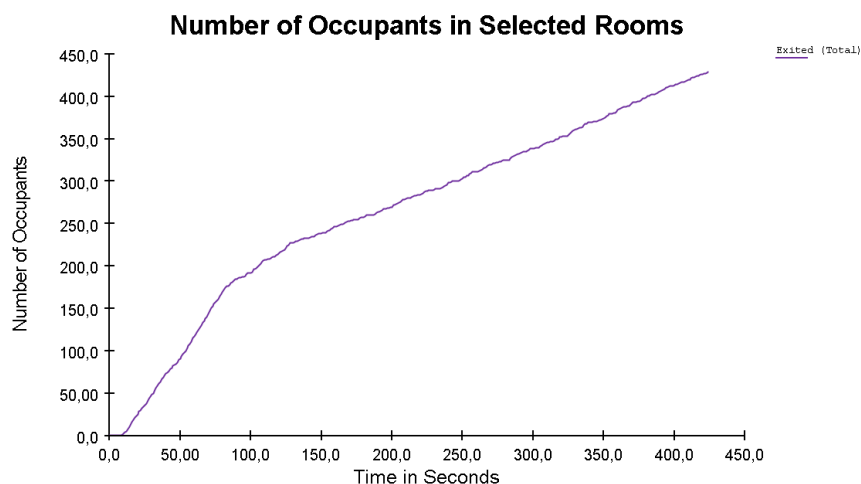
Nesta estratégia foram simulados cenários com e sem a utilização de elevadores, por forma a se perceber o impacto dos mesmo na evacuação dos ocupantes.

Na Tabela 4 é apresentado o resultado das simulações para os dois cenários previstos.

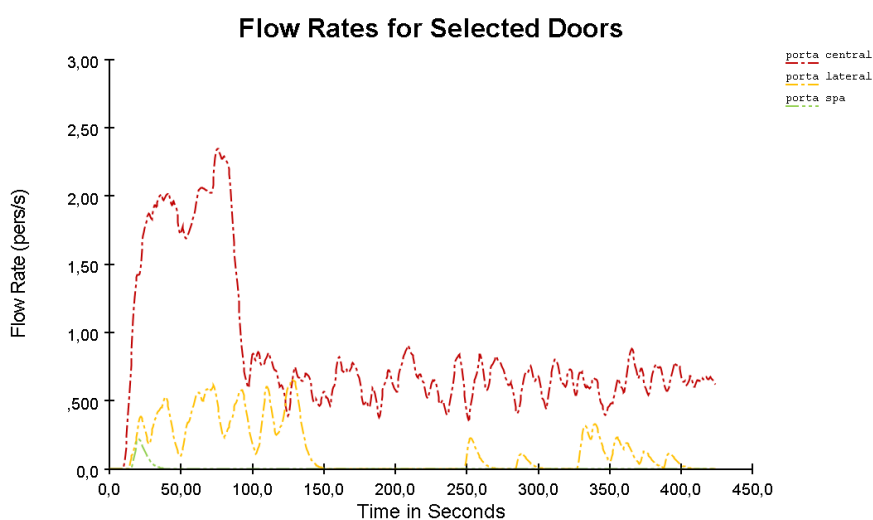
**Tabela 4** Tempos de evacuação resultantes da simulação da estratégia 1 (com e sem elevador).

Cenários	Resultados da simulação	Tempo de pré-evacuação (CFPA Europe, 2009)	Tempo total de evacuação
Sem elevadores	424,0 s	240,0 s	664,0 s
Com elevadores	541,3 s	240,0 s	781,3 s

Os gráficos apresentados nas Figuras 60 e 61, referentes à simulação sem elevadores, mostram, respetivamente, a quantidade de ocupantes que saíram do edifício ao longo do tempo e o fluxo de pessoas em cada uma das portas de saída. Com estes gráficos é possível perceber a evolução da evacuação ao longo do tempo e o fluxo de pessoas em cada uma das portas de saída.



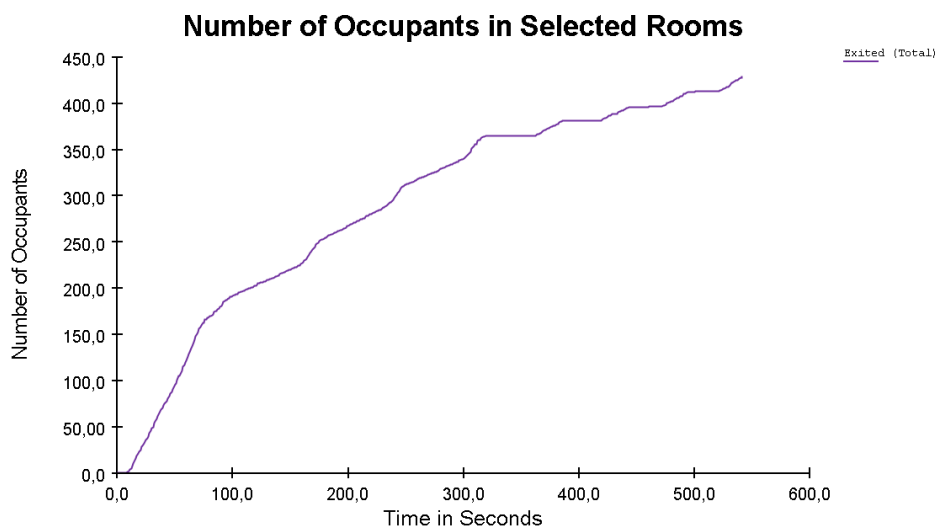
**Figura 60** Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação sem elevadores (estratégia 1).



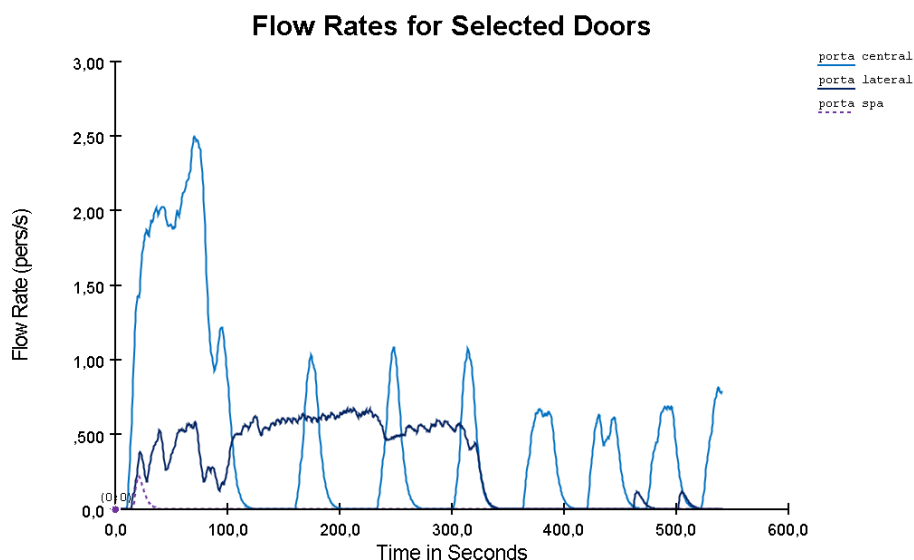
**Figura 61** Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída referente à simulação sem elevadores (estratégia 1).

Pelos gráficos apresentados nas Figuras 60 e 61 é possível analisar que o cenário sem elevadores apresenta inicialmente uma evacuação elevada de ocupantes, tornando-se depois praticamente constante até ao final. Com estes dados e pela visualização gráfica da simulação é possível concluir que a evacuação foi efetuada, maioritariamente, pela porta de saída central, causando uma acumulação de pessoas junto a e nas escadas centrais.

As Figuras 62 e 63, referentes à simulação com elevadores, mostram, respetivamente, a quantidade de ocupantes que saíram do edifício ao longo do tempo e o fluxo de pessoas em cada uma das portas de saída.



**Figura 62** Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação com elevadores (estratégia 1).



**Figura 63** Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída referente à simulação com elevadores (estratégia 1).

Com os gráficos apresentados nas Figuras 62 e 63 é possível analisar que, à semelhança do cenário sem os elevadores em funcionamento, este cenário apresenta inicialmente uma evacuação de ocupantes elevada, sofrendo posteriormente mais oscilações na evacuação. Isto deve-se ao facto de os ocupantes procurarem os elevadores para se deslocarem para o piso 0, causando uma acumulação de pessoas junto a estes e provocando momentos em que nenhum ocupante é evacuado. É possível ainda constatar que em determinados momentos nenhuma pessoa é evacuada, devido aos ocupantes esperarem por um elevador para realizarem a evacuação. Na Figura 63 é possível verificar que a porta central apresenta a partir de um certo tempo um fluxo irregular de ocupantes, apresentando diversos picos, que

representam os momentos em que os ocupantes saem do edifício, após chegarem ao piso 0 através dos elevadores.

Com estes resultados podemos concluir que os elevadores interferem negativamente nesta estratégia de evacuação, uma vez que os ocupantes procuram os mesmo para se movimentarem para o piso 0, causando uma grande acumulação de pessoas junto a estes, o que resulta num aumento do tempo total de evacuação.

### **3.2.3.2 ESTRATÉGIA 2 – CENÁRIOS COM 2 SAÍDAS DO HOTEL DISPONÍVEIS, SEM ORIENTAÇÃO (COM E SEM ELEVADORES)**

À semelhança da estratégia 1, a estratégia 2 permite a evacuação dos 429 ocupantes, no entanto, apenas estão disponíveis duas das três portas de saída do hotel. Os ocupantes procedem à evacuação sem qualquer tipo de orientação em direção às saídas, realizando a evacuação pelo caminho mais curto em direção a uma saída. Como tal, nesta estratégia, foi atribuído a todos os ocupantes o mesmo comportamento (“*Go to Any Exit*”).

Tal como na estratégia 1, nesta estratégia foram simulados cenários com e sem a utilização de elevadores, por forma a se perceber o impacto dos mesmo na evacuação dos ocupantes.

Os cenários elaborados abrangem todas as combinações possíveis de saídas, encontrando-se na Tabela 5 os resultados da simulação de todos os cenários.

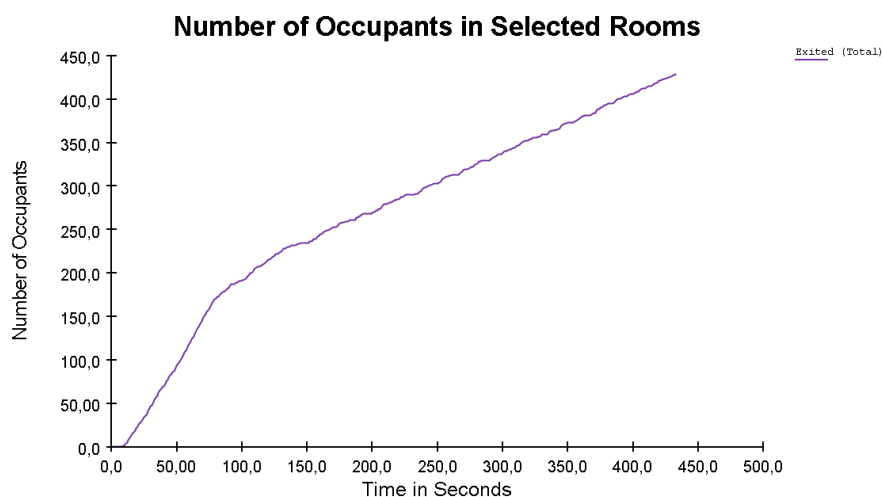
**Tabela 5** Tempos de evacuação resultantes da simulação da estratégia 2 (com e sem elevador).

Cenários	Resultados da simulação	Tempo de pré-evacuação (CFPA Europe, 2009)	Tempo total de evacuação
Saída central e lateral disponíveis (sem elevadores)	432,5 s	240,0 s	672,5 s
Saída central e do Spa disponíveis (sem elevadores)	488,0 s	240,0 s	728,0 s
Saída lateral e do Spa disponíveis (sem elevadores)	370,3 s	240,0 s	610,3 s
Saída central e lateral disponíveis (com elevadores)	540,8 s	240,0 s	780,8 s

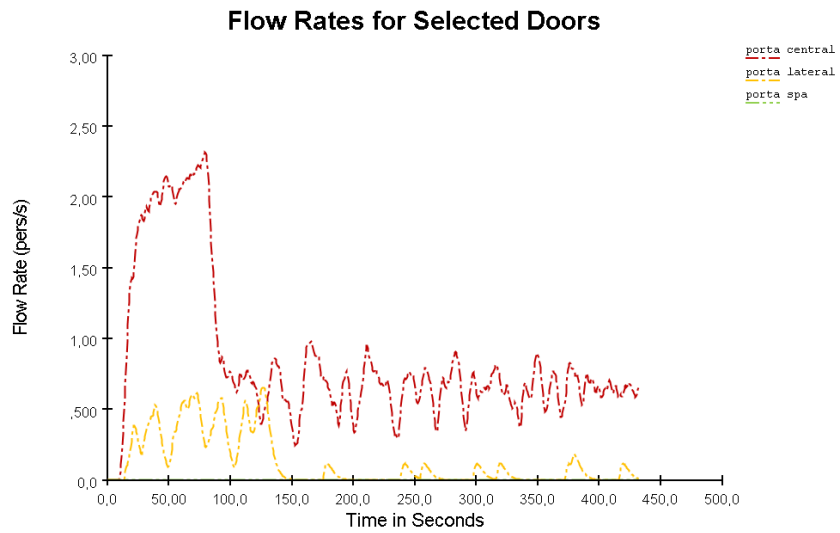
Saída central e do Spa disponíveis (com elevadores)	561,5 s	240,0 s	801,5 s
Saída lateral e do Spa disponíveis (com elevadores)	549,8 s	240,0 s	789,8 s

Através da Tabela 5 é possível verificar que, nesta estratégia de evacuação, os ocupantes quando utilizam os elevadores para se deslocarem aumentam o tempo de evacuação, à semelhança do que acontece na estratégia 1. Por outro lado, entre todos os cenários simulados, aquele que apresenta menor tempo total de evacuação é o cenário onde a evacuação para o exterior do hotel é realizada pela porta de saída lateral e pela porta de saída do spa, sem os elevadores em funcionamento.

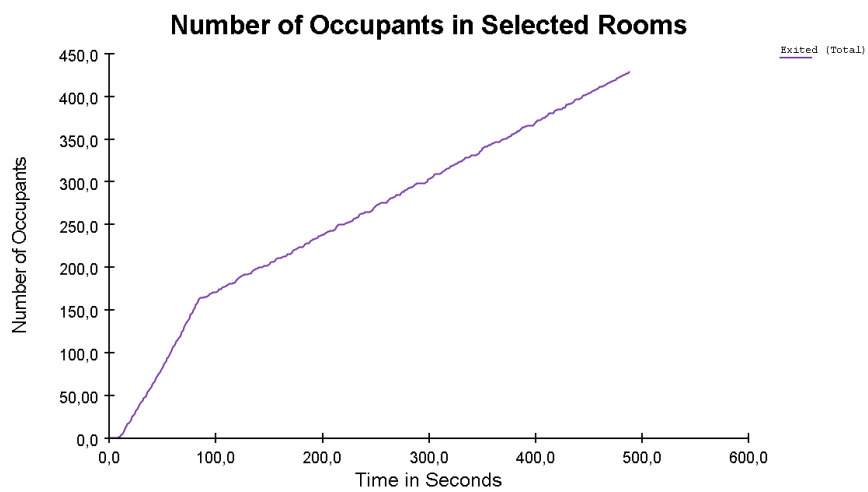
Os gráficos apresentados nas Figuras 64 a 69, referentes à simulação sem elevadores, mostram consoante o cenário simulado, a evolução da evacuação ao longo do tempo e o fluxo de pessoas em cada uma das portas de saída.



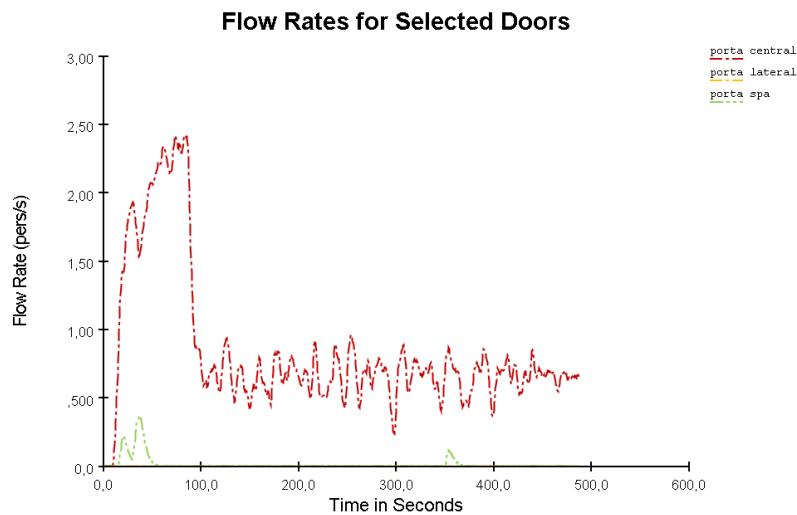
**Figura 64** Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação sem elevadores com a saída central e lateral disponíveis (estratégia 2).



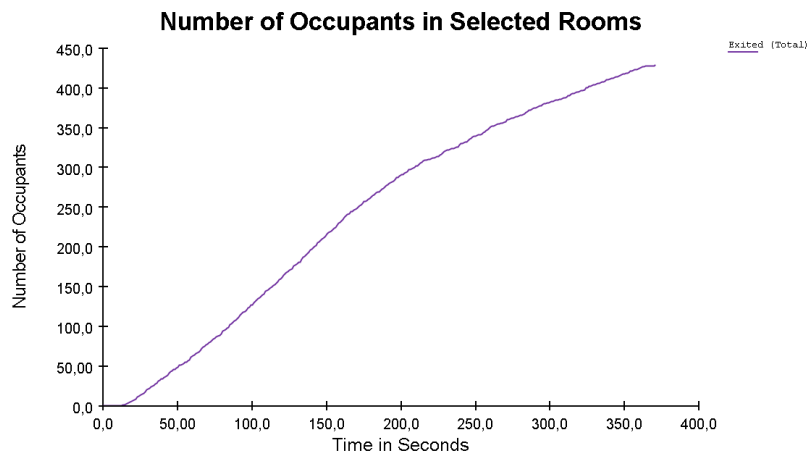
**Figura 65** Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída central e lateral referente à simulação sem elevadores (estratégia 2).



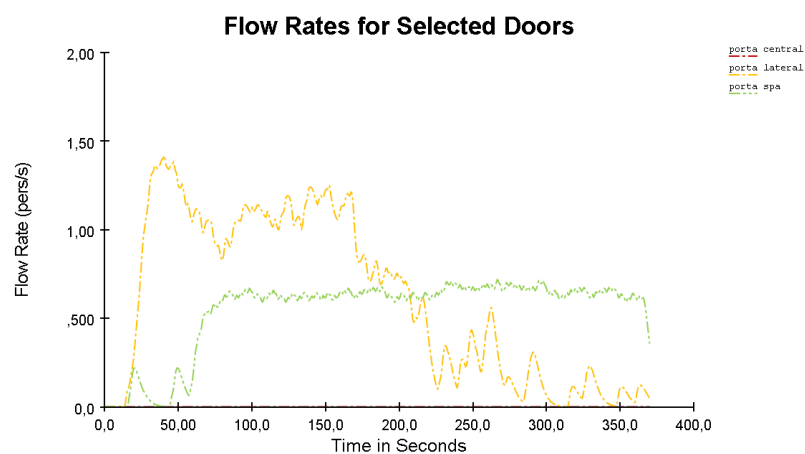
**Figura 66** Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação sem elevadores com a saída central e do Spa disponíveis (estratégia 2).



**Figura 67** Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída central e do Spa referente à simulação sem elevadores (estratégia 2).



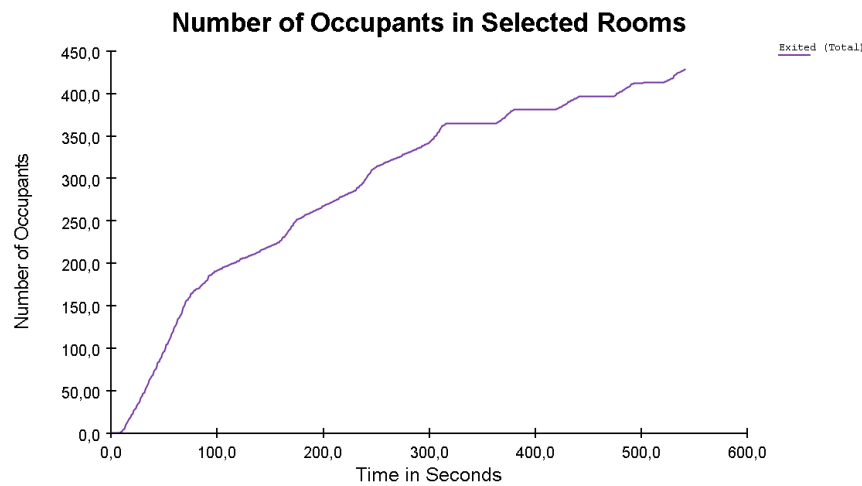
**Figura 68** Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação sem elevadores com a saída lateral e do Spa disponíveis (estratégia 2).



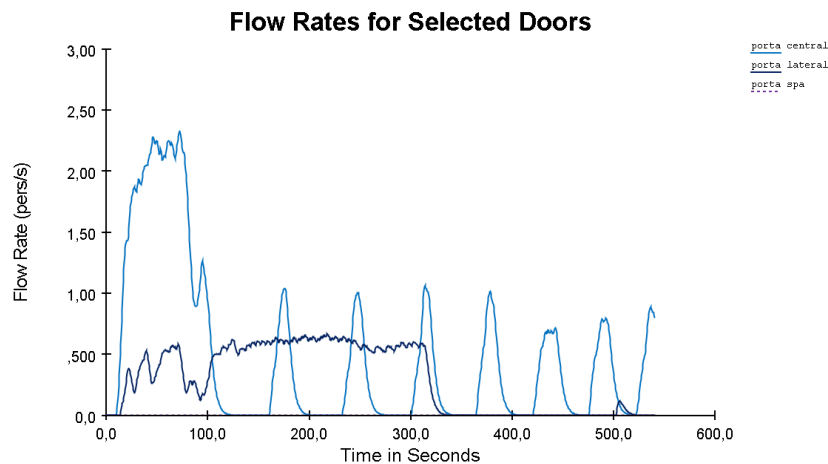
**Figura 69** Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída lateral e do Spa referente à simulação sem elevadores (estratégia 2).

Através dos gráficos anteriores é possível concluir que os ocupantes, quando a saída central se encontra disponível, procuram evacuar maioritariamente por esta, causando uma acumulação de pessoas nas escadas centrais e junto da porta de saída central. Por outro lado, o cenário com a evacuação pela porta de saída lateral e pela porta de saída do Spa mostra que, apesar de num período inicial o número de pessoas evacuadas ser inferior aos restantes cenários, no final da simulação o tempo total de evacuação é menor, como tal, é o cenário que apresenta uma evacuação mais rápida.

Os gráficos apresentados nas Figuras 70 a 75, referentes à simulação com elevadores, mostram, consoante o cenário simulado, a evolução da evacuação ao longo do tempo e o fluxo de pessoas em cada uma das portas de saída.

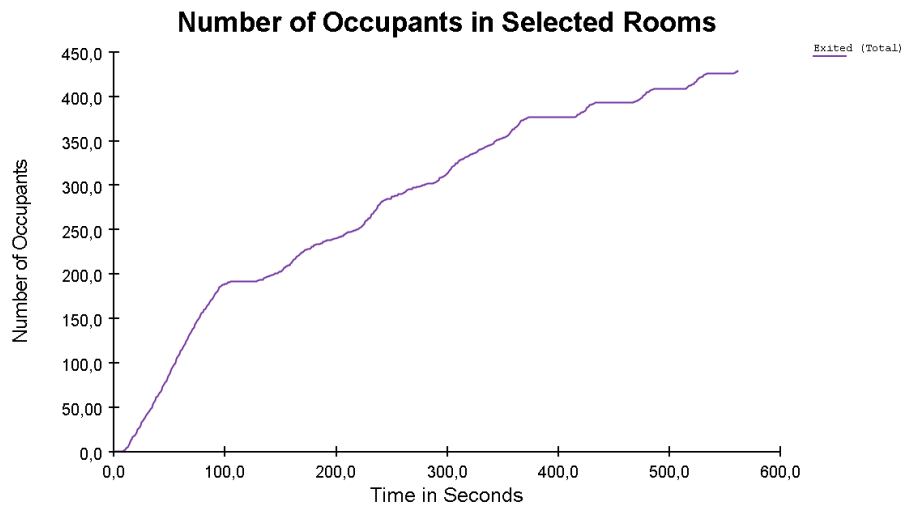


**Figura 70** Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação com elevadores com a saída central e lateral disponíveis (estratégia 2).

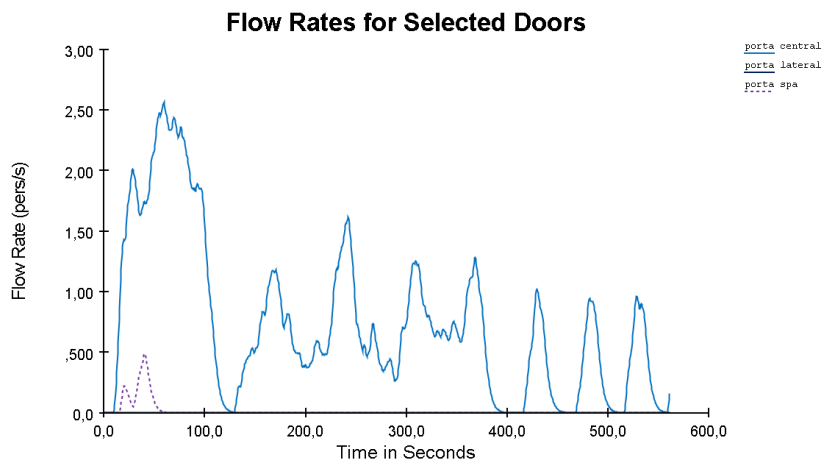


**Figura 71** Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída central e lateral referente à simulação com elevadores (estratégia 2).

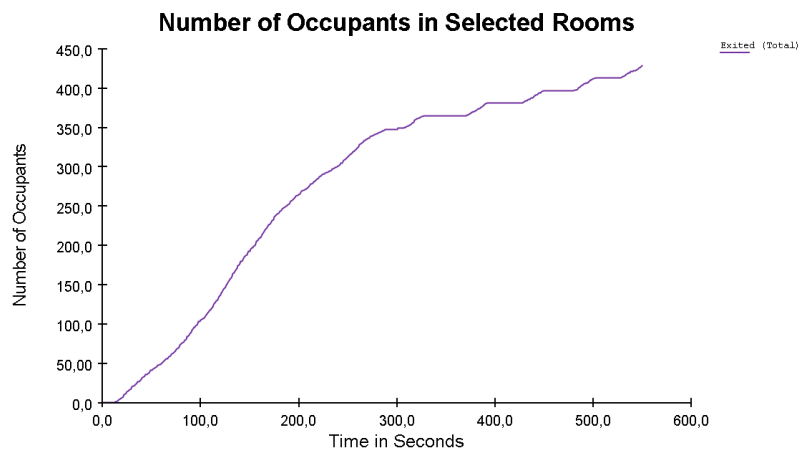




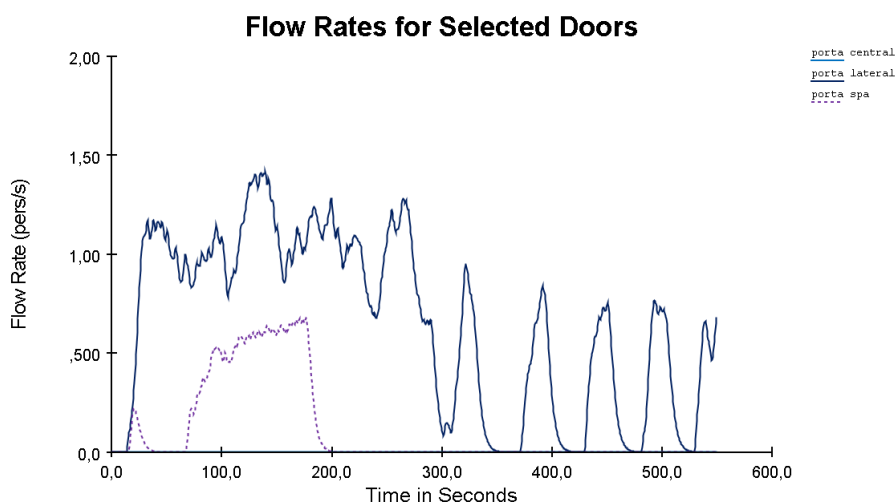
**Figura 72** Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação com elevadores com a saída central e do Spa disponíveis (estratégia 2).



**Figura 73** Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída central e do Spa referente à simulação com elevadores (estratégia 2).



**Figura 74** Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação com elevadores com a saída lateral e do Spa disponíveis (estratégia 2).



**Figura 75** Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída lateral e do Spa referente à simulação com elevadores (estratégia 2).

Com os gráficos apresentados e com os resultados da simulação, é possível perceber que o uso de elevadores nesta estratégia aumenta o tempo total de evacuação. Analisando os gráficos das Figuras 70, 72 e 74 é possível concluir que a evacuação não decorre de uma forma constante, existindo momentos em que nenhum ocupante é evacuado. É possível reforçar esta conclusão, analisando os gráficos das Figuras 71, 73 e 75, onde se podem observar diversos picos, os quais representam os momentos em que os ocupantes saem do edifício, após chegarem ao piso 0 através dos elevadores. O facto de cada elevador ter uma capacidade máxima para 8 pessoas e de existirem diversos ocupantes que escolhem esperar pelos elevadores para se deslocarem para o piso 0, origina momentos em que não existe fluxo de ocupantes nas portas de saída do hotel.

A visualização gráfica da simulação permitiu também concluir que a utilização de elevadores nesta estratégia origina uma acumulação de ocupantes junto a estes, uma vez que a maioria dos ocupantes opta pela deslocação através dos elevadores. Com isto, os tempos totais de evacuação aumentam significativamente em comparação com os cenários em que não são utilizados elevadores.

### **3.2.3.3 ESTRATÉGIA 3 – CENÁRIOS COM 1 SAÍDA DO HOTEL DISPONÍVEL, SEM ORIENTAÇÃO (COM E SEM ELEVADORES)**

A estratégia 3 permite a evacuação dos 429 ocupantes, no entanto, apenas está disponível uma das três portas de saída do hotel. Os ocupantes procedem à evacuação sem qualquer

tipo de orientação em direção às saídas, realizando a evacuação pelo caminho mais curto em direção a uma saída. Como tal, nesta estratégia foi atribuído a todos os ocupantes o mesmo comportamento (“Go to Any Exit”).

Tal como nas estratégias até aqui apresentadas, nesta estratégia foram simulados cenários com e sem a utilização de elevadores, por forma a se perceber o impacto dos mesmo na evacuação dos ocupantes.

Os resultados das simulações para os cenários elaborados encontram-se exibidos na Tabela 6.

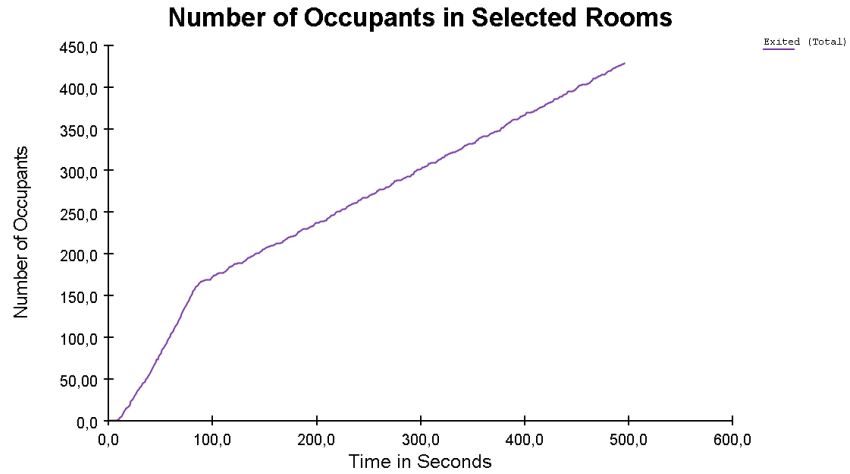
**Tabela 6** Tempos de evacuação resultantes da simulação da estratégia 3 (com e sem elevador).

Cenários	Resultados da simulação	Tempo de pré-evacuação (CFPA Europe, 2009)	Tempo total de evacuação
Saída central disponível (sem elevadores)	496,0 s	240,0 s	736,0 s
Saída lateral disponível (sem elevadores)	388,5 s	240,0 s	628,5 s
Saída do Spa disponível (sem elevadores)	699,3 s	240,0 s	939,3 s
Saída central disponível (com elevadores)	604,0 s	240,0 s	844,0 s
Saída lateral disponível (com elevadores)	545,0 s	240,0 s	785,0 s
Saída do Spa disponível (com elevadores)	717,3 s	240,0 s	957,3 s

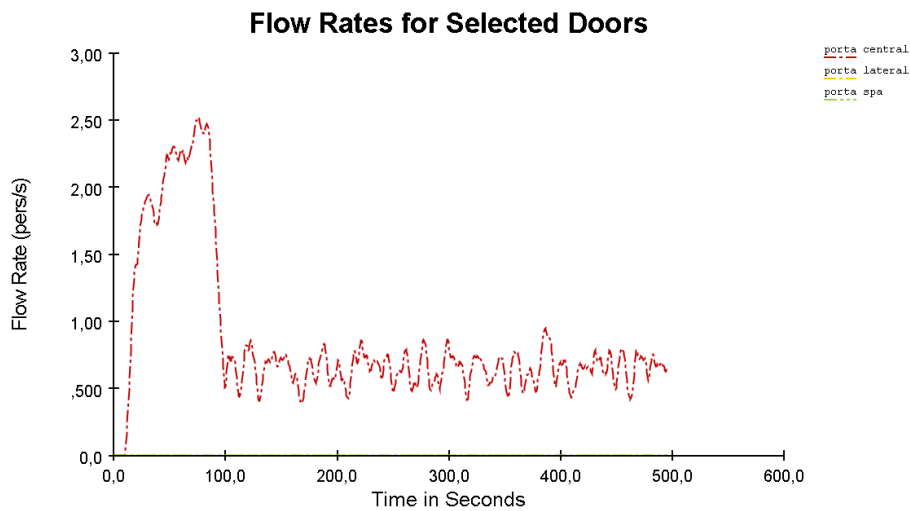
Através da Tabela 6 é possível verificar que nesta estratégia a evacuação mais rápida é através da porta de saída de lateral, sem a utilização de elevadores, sendo a mais lenta através da porta de saída do spa, com os elevadores em funcionamento.

No geral pode concluir-se que, nesta estratégia de evacuação, os ocupantes quando utilizam os elevadores aumentam o tempo total de evacuação, à semelhança do que acontece com as estratégias até aqui analisadas.

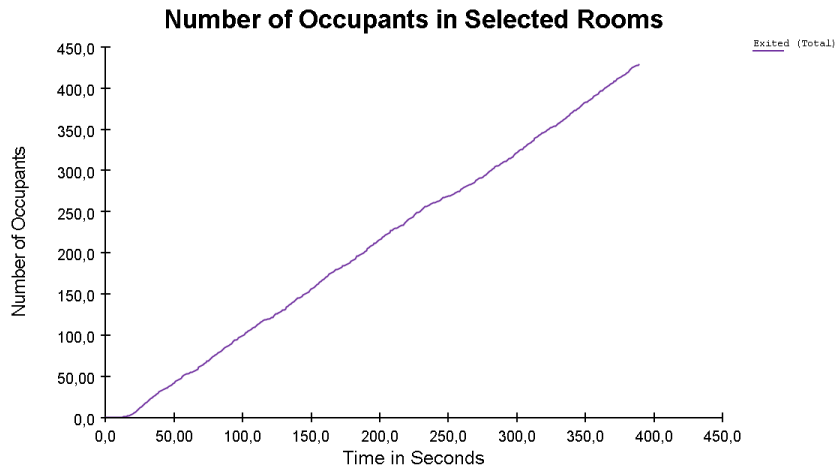
Os gráficos apresentados nas Figuras 76 a 81, referentes à simulação sem elevadores, mostram, consoante o cenário simulado, a evolução da evacuação ao longo do tempo e o fluxo de pessoas em cada uma das portas de saída.



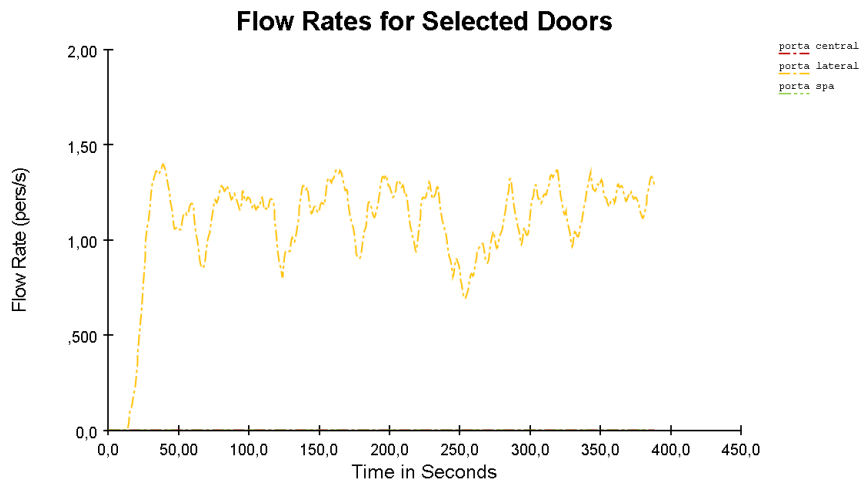
**Figura 76** Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação sem elevadores com a saída central disponível (estratégia 3).



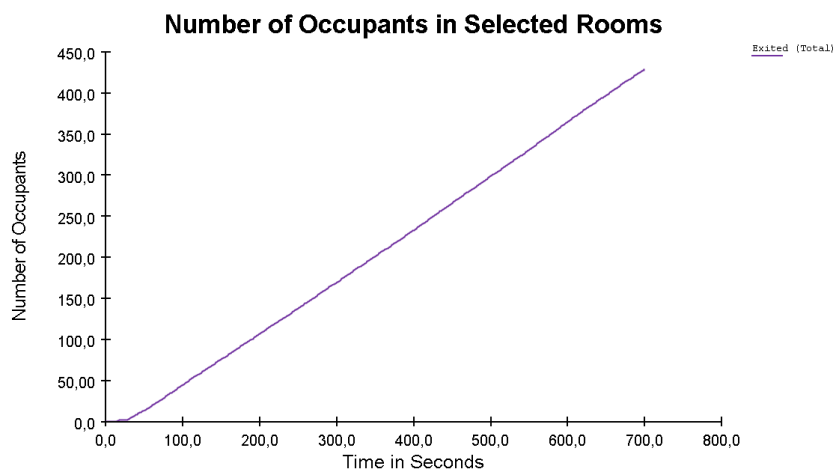
**Figura 77** Gráfico do fluxo de pessoas na porta de saída central referente à simulação sem elevadores (estratégia 3).



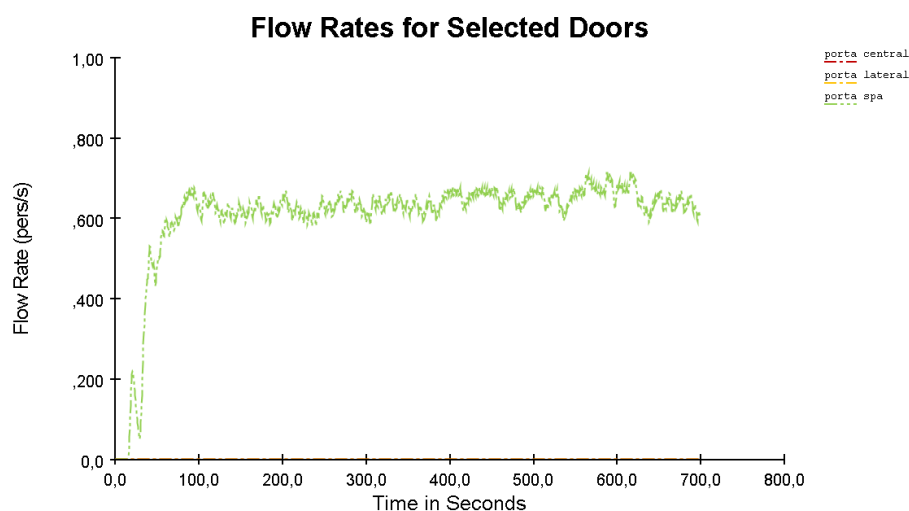
**Figura 78** Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação sem elevadores com a saída lateral disponível (estratégia 3).



**Figura 79** Gráfico do fluxo de pessoas na porta de saída lateral referente à simulação sem elevadores (estratégia 3).



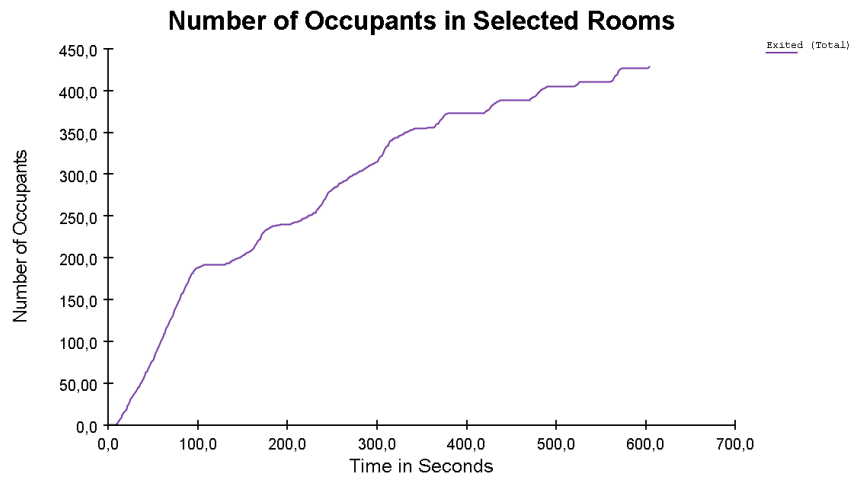
**Figura 80** Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação sem elevadores com a saída do Spa disponível (estratégia 3).



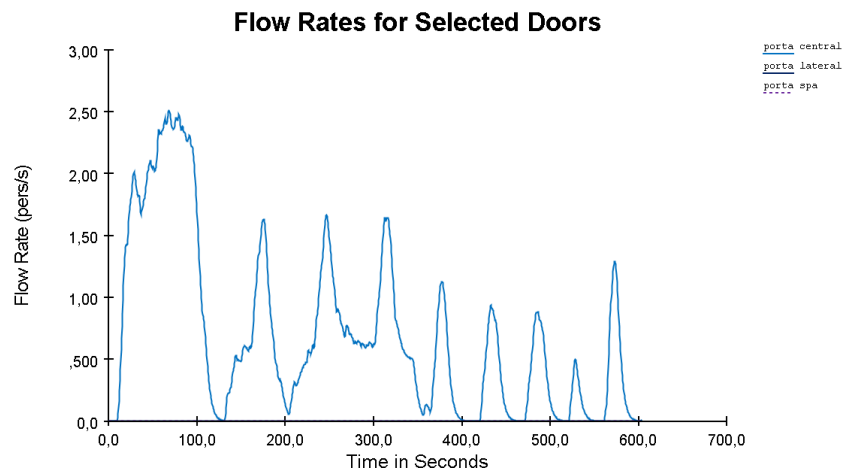
**Figura 81** Gráfico do fluxo de pessoas na porta de saída do Spa referente à simulação sem elevadores (estratégia 3).

Através dos gráficos anteriores é possível concluir que o cenário onde os ocupantes são capazes de evacuar mais rapidamente é o cenário com a porta de saída lateral disponível. Isto deve-se ao facto de os ocupantes não evacuarem maioritariamente pelas escadas centrais, usando também as escadas junto à saída lateral, diminuindo desta forma a grande acumulação de pessoas nas escadas centrais. O cenário na qual a porta de saída central se encontra disponível permite inicialmente uma evacuação mais acelerada dos ocupantes, em comparação com os restantes cenários; contudo, com a acumulação de pessoas nas escadas centrais, devido à maioria dos ocupantes se dirigir a esta, por ser o caminho mais curto em direção à saída, leva a que, no final, o tempo total de evacuação seja maior do que no cenário com a porta de saída lateral disponível. O cenário com a porta de saída do spa disponível aumenta significativamente o tempo total de evacuação em comparação com os restantes cenários, uma vez que, além dos ocupantes evacuarem maioritariamente pelas escadas centrais, a largura do caminho de evacuação junto ao spa é muito reduzida para o número de ocupantes que necessita de passar por este espaço, gerando uma grande acumulação de pessoas nesta zona.

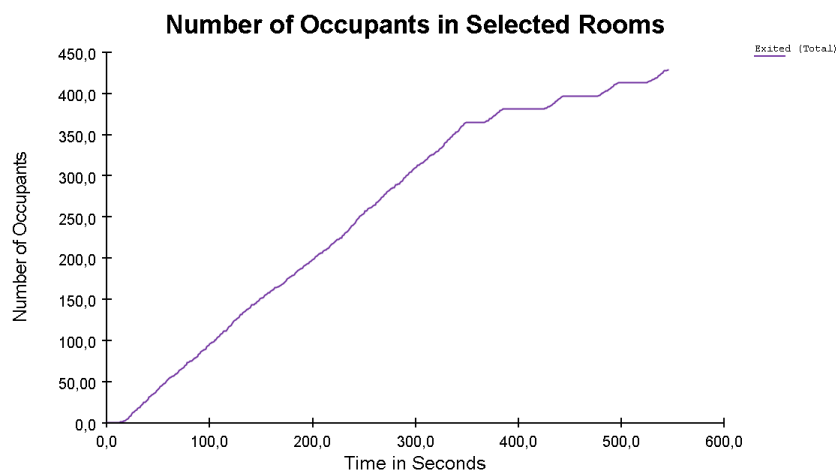
Os gráficos apresentados nas Figuras 82 a 87, referentes à simulação com elevadores, mostram, consoante o cenário simulado, a evolução da evacuação ao longo do tempo e o fluxo de pessoas em cada uma das portas de saída.



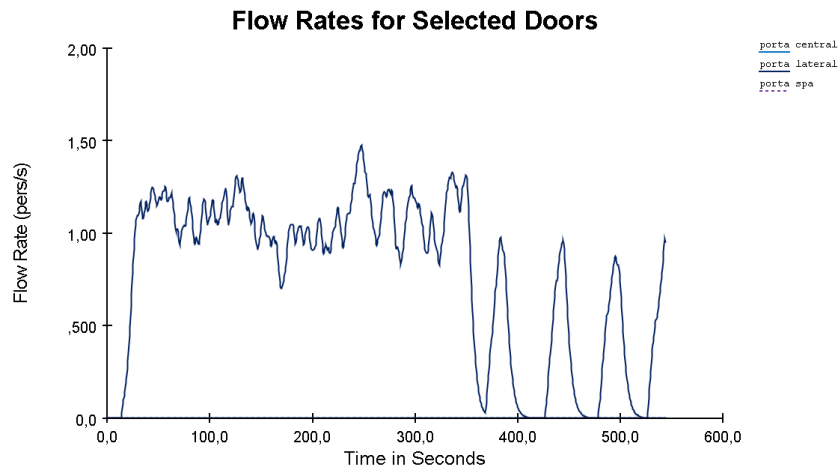
**Figura 82** Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação com elevadores com a saída central disponível (estratégia 3).



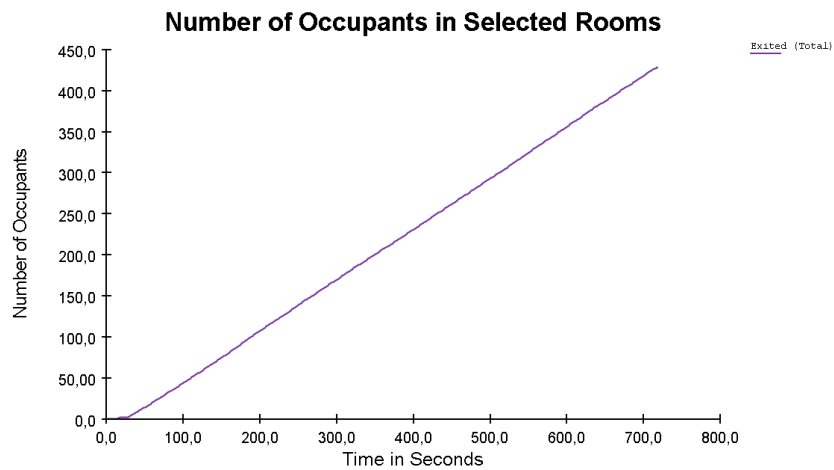
**Figura 83** Gráfico do fluxo de pessoas na porta de saída central referente à simulação com elevadores (estratégia 3).



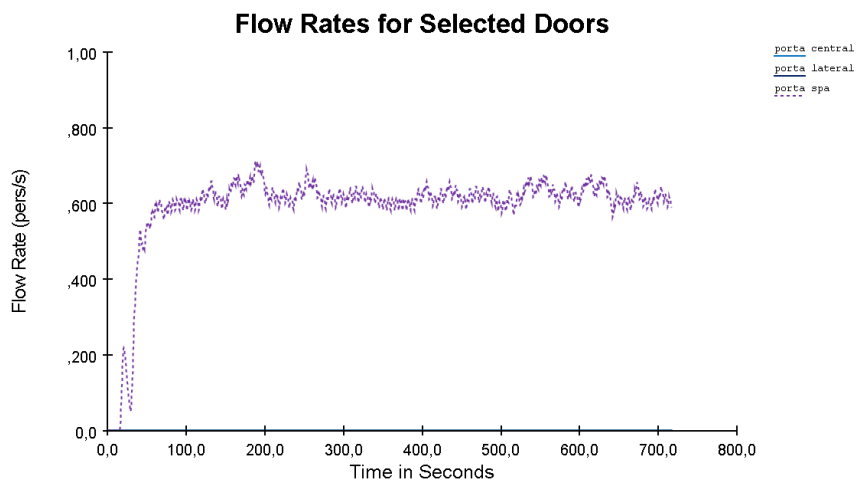
**Figura 84** Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação com elevadores com a saída lateral disponível (estratégia 3).



**Figura 85** Gráfico do fluxo de pessoas na porta de saída lateral referente à simulação com elevadores (estratégia 3).



**Figura 86** Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação com elevadores com a saída do Spa disponível (estratégia 3).



**Figura 87** Gráfico do fluxo de pessoas na porta de saída do Spa referente à simulação com elevadores (estratégia 3).



Com os gráficos apresentados e com os resultados da simulação é possível perceber que o uso de elevadores, na estratégia 3, aumenta o tempo total de evacuação. Analisando os gráficos das Figuras 82 e 84 é possível concluir que a evacuação não decorre de uma forma constante, existindo momentos em que nenhum ocupante é evacuado, à semelhança do que acontece nas estratégias 1 e 2, nos cenários onde são utilizados elevadores. Como já foi referido nas estratégias 1 e 2, isto deve-se ao facto de existir momentos em que a evacuação de ocupantes apenas acontece quando estes são descarregados no piso 0 através dos elevadores. Contudo, no cenário com os elevadores em funcionamento e a porta de saída do spa disponível, o tempo total de evacuação não aumenta significativamente em comparação com o cenário com a mesma porta disponível, mas sem os elevadores em funcionamento. Isto deve-se ao facto de a largura do caminho de evacuação junto ao spa ser muito reduzido para o número de ocupantes que necessita de passar por este espaço, gerando uma grande acumulação de ocupantes, o que resulta num tempo total de evacuação próximo nos dois cenários.

A visualização gráfica da simulação permitiu também concluir que a utilização de elevadores nesta estratégia origina uma acumulação de ocupantes junto a estes, uma vez que a maioria dos ocupantes opta pela deslocação através dos elevadores. Com isto, os tempos totais de evacuação aumentam significativamente em comparação com os cenários em que não são utilizados elevadores.

#### **3.2.3.4 ESTRATÉGIA 4 – CENÁRIO COM 3 SAÍDAS DO HOTEL DISPONÍVEIS, COM ORIENTAÇÃO (COM E SEM ELEVADORES)**

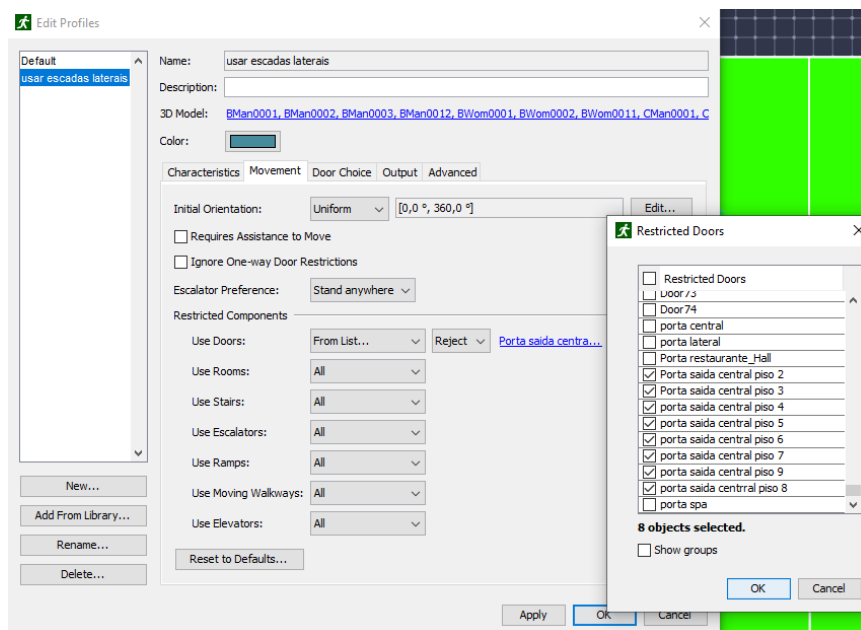
A estratégia 4 permite a evacuação dos 429 ocupantes pelas três portas de saída do hotel (saída central, lateral e do Spa), sendo a evacuação dos ocupantes dos pisos 2 ao 9 realizada com orientação, ou seja, os ocupantes destes pisos são direccionados para as saídas através de um determinado caminho ou meio de evacuação.

Nesta estratégia foram simulados cenários com e sem a utilização de elevadores, por forma a se perceber o impacto dos mesmo na evacuação dos ocupantes.

Como tal, para o cenário em que os elevadores não estão disponíveis, foram definidos em cada piso (do piso 2 ao 9) os ocupantes que iriam utilizar apenas escadaria central e os

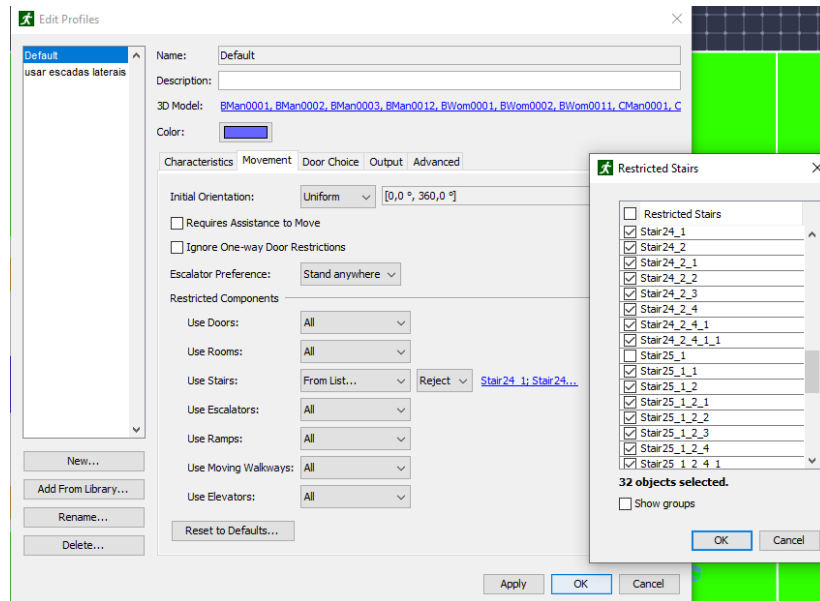
ocupantes que iriam utilizar apenas a escadaria lateral. Para tal, foi necessário criar um novo perfil (“usar escadas laterais”) e alterar as configurações do perfil “Default”.

O perfil “usar escadas laterais”, foi configurado de modo a que os ocupantes que estejam atribuídos a este não realizem a evacuação pela escadaria central. Para tal, foi necessário definir quais as portas que não seriam acessíveis pelos ocupantes deste perfil, restringindo assim todas as portas de acesso à escadaria central, tal como é possível visualizar na Figura 88.



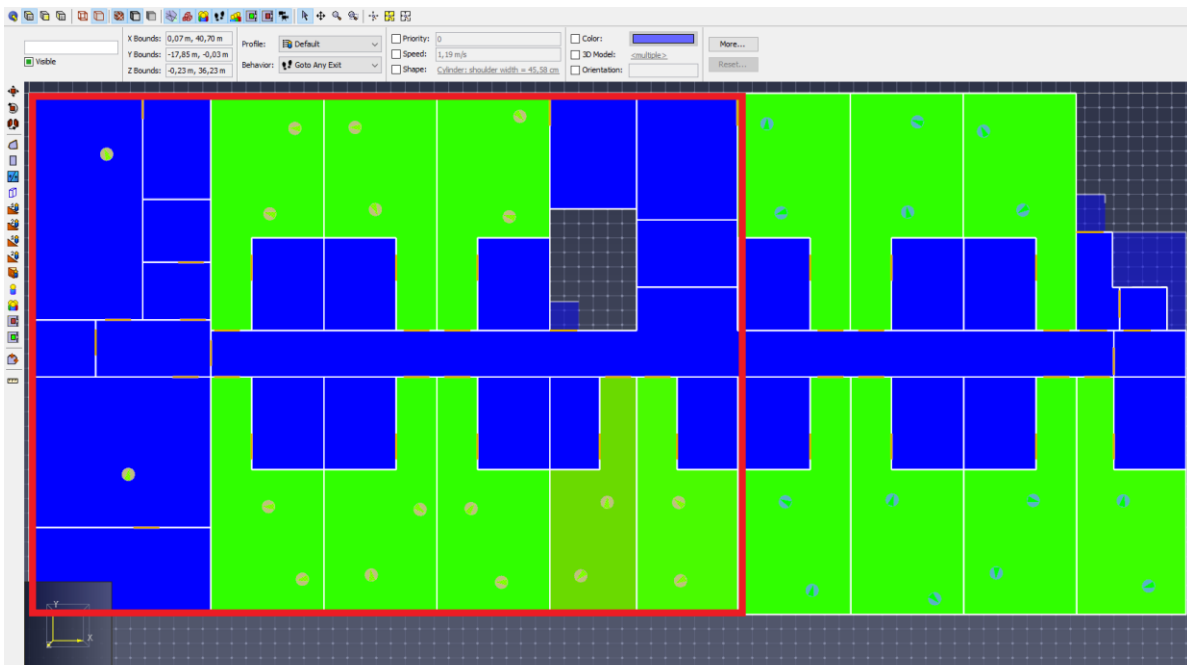
**Figura 88** Restrição de portas no perfil “usar escadas laterais”.

Por outro lado, o perfil “Default” foi alterado, de modo a que os ocupantes do piso 2 ao 9 atribuídos a este perfil sejam impossibilitados de utilizar a escadarias lateral, tal como é possível visualizar na Figura 89.

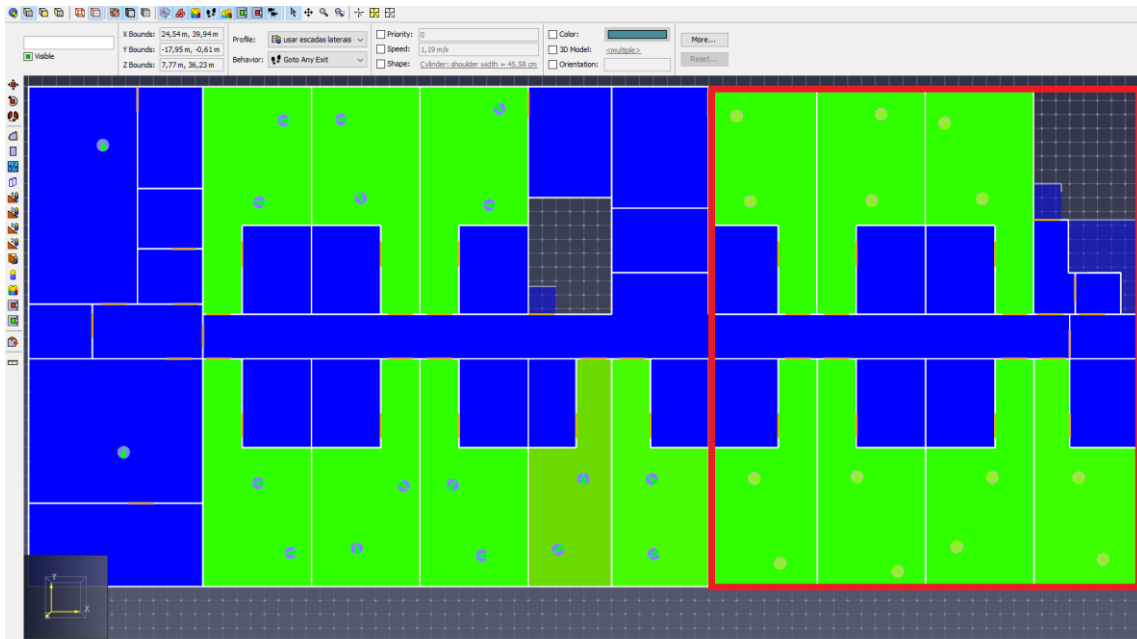


**Figura 89** Restrição do uso da escadaria lateral no perfil “Default”.

Nas Figuras 90 e 91 é possível observar os ocupantes do piso 9 associados, respectivamente, ao perfil “Default” e ao perfil “usar escadas laterais”. Esta associação foi realizada da mesma forma do piso 2 ao 8. No piso 0 e 1, todos os ocupantes foram atribuídos ao perfil “Default”.

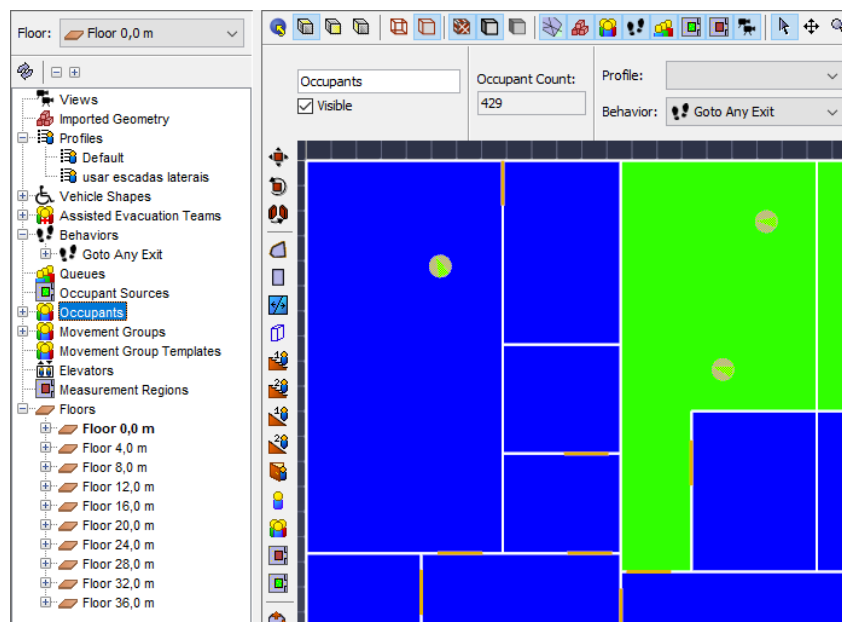


**Figura 90** Ocupantes associados ao perfil “Default”.



**Figura 91** Ocupantes associados ao perfil “usar escadas laterais”.

Com a orientação dos ocupantes configurada foi atribuído a todos eles o mesmo comportamento (“Go to Any Exit”), tal como é possível verificar na Figura 92. Com este comportamento, os ocupantes decidem qual a melhor porta de saída em direção ao seu objetivo (sair do hotel).



**Figura 92** Comportamento de todos os ocupantes no cenário sem elevador.

No cenário em que os elevadores se encontram disponíveis foi definido que estes apenas seriam utilizados na evacuação dos ocupantes do piso 9. A evacuação dos ocupantes dos

restantes pisos é realizada com orientação, à semelhança do cenário sem elevadores, porém, foi necessário adicionar uma restrição (“Use Elevators: None”) no perfil “Default” e no perfil “usar escadas laterais”, de maneira a que o uso dos elevadores por parte dos ocupantes nestes pisos não seja possível, tal como se pode observar nas Figuras 93 e 94.

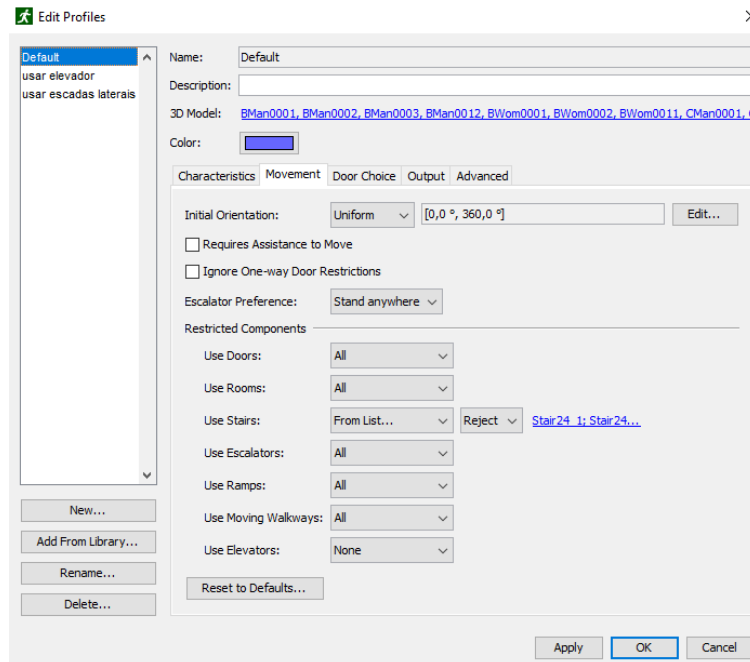


Figura 93 Restrição do uso de elevadores no perfil “Default”.

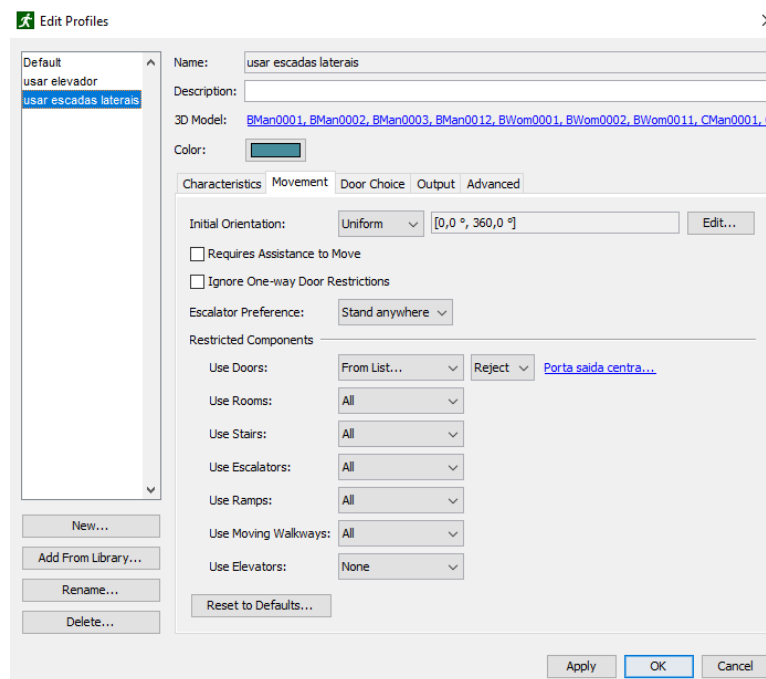
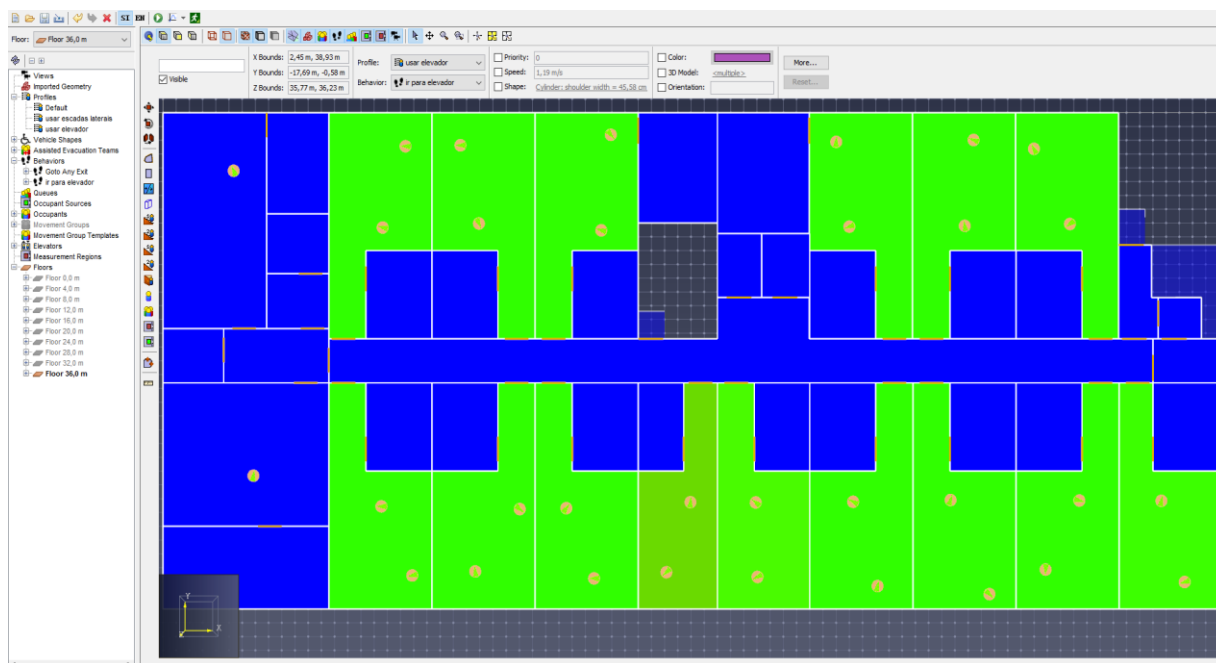


Figura 94 Restrição do uso de elevadores no perfil “usar escadas laterais”.

Neste cenário foi criado o perfil “usar elevador” e o comportamento “ir para elevador”, os quais foram atribuídos a todos os ocupantes do piso 9, tal como é possível observar na Figura 95. Esta configuração permite aos ocupantes do piso 9 deslocarem-se para os elevadores e após serem descarregados por estes no piso 0, permite que se desloquem para a melhor porta de saída em direção ao seu objetivo (sair do hotel).



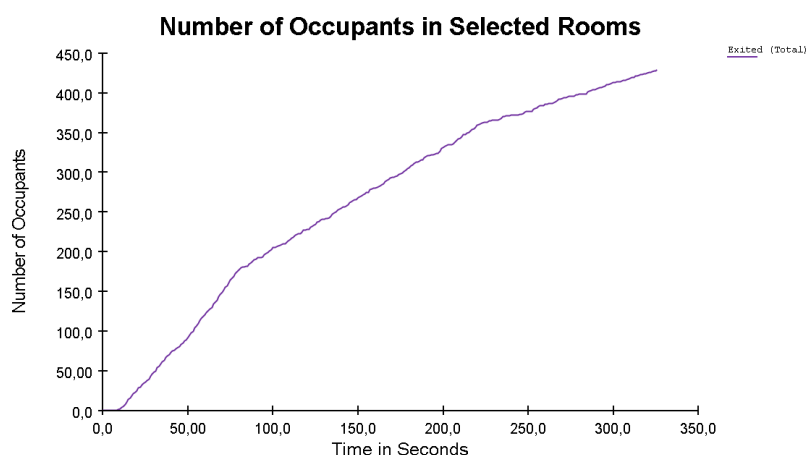
**Figura 95** Ocupantes do piso 9 atribuídos ao perfil “usar elevador” e ao comportamento “ir para elevador”.

Na Tabela 7 é apresentado o resultado das simulações para os dois cenários previstos.

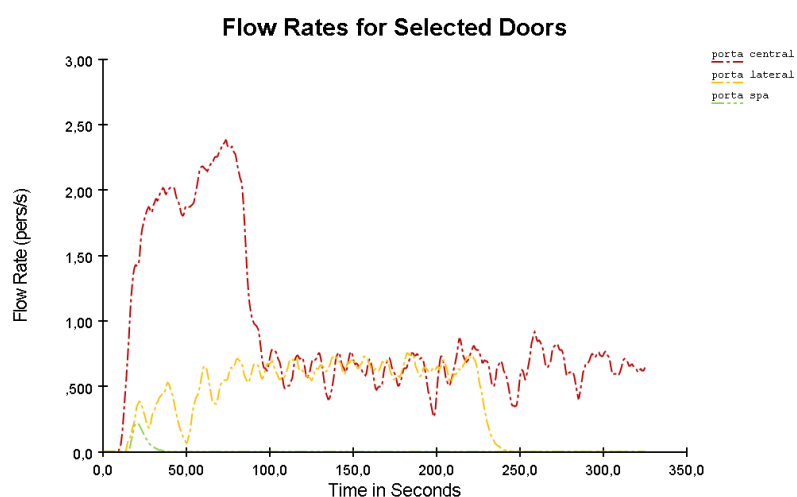
**Tabela 7** Tempos de evacuação resultantes da simulação da estratégia 4 (com e sem elevador).

Cenários	Resultados da simulação	Tempo de pré-evacuação (CFPA Europe, 2009)	Tempo total de evacuação
Sem elevadores	325,5 s	240,0 s	565,5 s
Com elevadores	296,0 s	240,0 s	536,0 s

Os gráficos apresentados nas Figuras 96 e 97, referentes à simulação sem elevadores, mostram, respetivamente, a quantidade de ocupantes que saíram do edifício ao longo do tempo e o fluxo de pessoas em cada uma das portas de saída. Com estes gráficos é possível perceber a evolução da evacuação ao longo do tempo e o fluxo de pessoas em cada uma das portas de saída.



**Figura 96** Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação sem elevadores (estratégia 4).

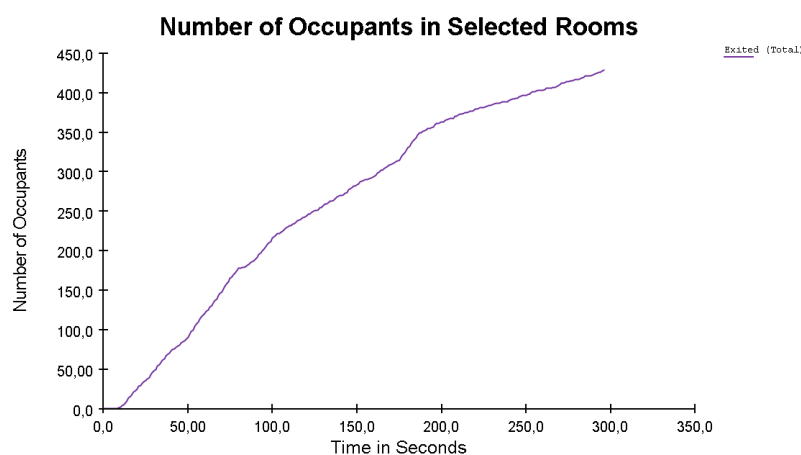


**Figura 97** Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída referente à simulação sem elevadores (estratégia 4).

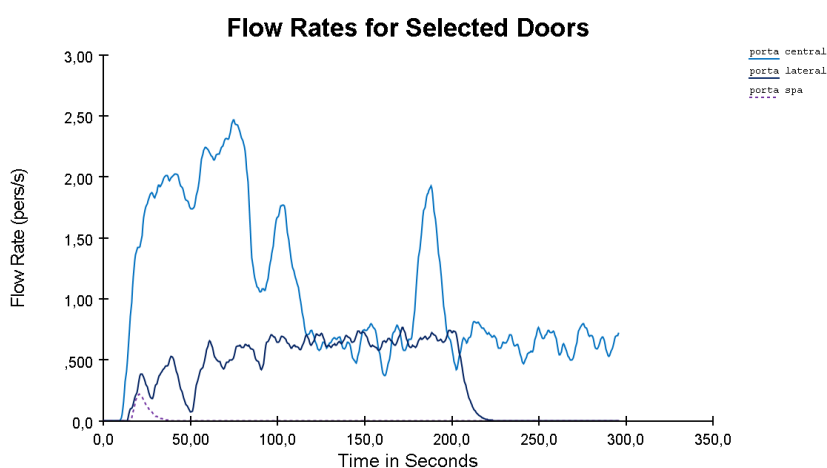
Pelos gráficos apresentados nas Figuras 96 e 97 é possível analisar que o cenário sem elevadores apresenta inicialmente uma evacuação elevada de ocupantes, sendo maioritariamente realizada pela porta de saída central. Isto deve-se facto dos ocupantes do piso 0 evacuarem maioritariamente por esta porta. É ainda possível observar que, no geral, a porta de saída lateral teve um bom fluxo de pessoas, resultado da orientação imposta aos ocupantes.

Com estes dados e pela visualização gráfica da simulação é possível concluir que a evacuação foi efetuada maioritariamente pela porta de saída central, no entanto, a orientação de parte dos ocupantes para a escadaria lateral e consequente evacuação pela porta de saída lateral provocou uma diminuição da acumulação de pessoas nas escadarias centrais.

As Figuras 98 e 99, referentes à simulação com elevadores, mostram, respetivamente, a quantidade de ocupantes que saíram do edifício ao longo do tempo e o fluxo de pessoas em cada uma das portas de saída.



**Figura 98** Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação com elevadores (estratégia 4).



**Figura 99** Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída referente à simulação com elevadores (estratégia 4).

Com os gráficos apresentados na Figura 98 e 99 é possível analisar que, à semelhança do cenário sem os elevadores em funcionamento, este cenário apresenta inicialmente uma evacuação de ocupantes elevada. Posteriormente, é possível observar dois principais picos no fluxo de pessoas na porta de saída central devido a chegada dos ocupantes do piso 9 através dos elevadores (aproximadamente aos 100 segundos e aos 180 segundos).

A principal porta usada na evacuação continua a ser a porta de saída central, sendo que, à semelhança dos cenários sem elevadores, a porta de saída lateral é bastante utilizada, em consequência de parte dos ocupantes estarem a ser orientados para a escadaria lateral, acabando por evacuar por esta saída.



Com estes resultados podemos concluir que os elevadores interferem positivamente nesta estratégia de evacuação, uma vez que, com a evacuação dos ocupantes do piso 9 pelos elevadores, o tempo total de evacuação diminui em comparação com o cenário sem elevadores.

### 3.2.3.5 ESTRATÉGIA 5 – CENÁRIOS COM 2 SAÍDAS DO HOTEL DISPONÍVEIS, COM ORIENTAÇÃO (COM E SEM ELEVADORES)

À semelhança da estratégia 4, a estratégia 5 permite a evacuação dos 429 ocupantes com o mesmo tipo de orientação em direção às saídas, no entanto, apenas estão disponíveis duas das três portas de saída do hotel.

Tal como na estratégia 4, nesta estratégia foram simulados cenários com e sem a utilização de elevadores, por forma a se perceber o impacto dos mesmo na evacuação dos ocupantes. Os elevadores apenas são utilizados para evacuar os ocupantes do piso 9.

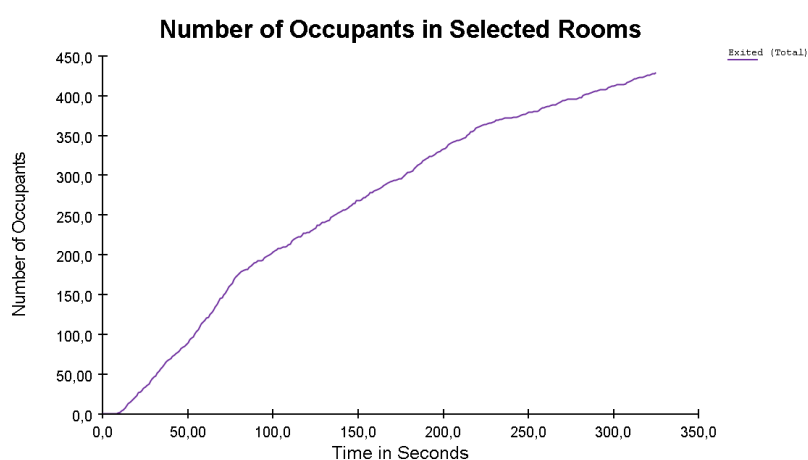
Os cenários elaborados abrangem todas as combinações possíveis de saídas, encontrando-se na Tabela 8 o resultado da simulação de todos estes cenários.

**Tabela 8** Tempos de evacuação resultantes da simulação da estratégia 5 (com e sem elevador).

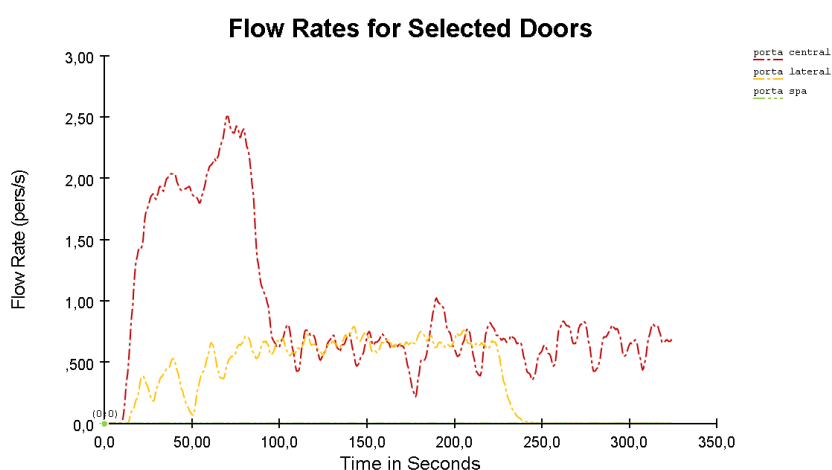
Cenários	Resultados da simulação	Tempo de pré-evacuação (CFPA Europe, 2009)	Tempo total de evacuação
Saída central e lateral disponíveis (sem elevadores)	324,5 s	240,0 s	564,5 s
Saída central e do Spa disponíveis (sem elevadores)	324,3 s	240,0 s	564,3 s
Saída lateral e do Spa disponíveis (sem elevadores)	353,3 s	240,0 s	593,3 s
Saída central e lateral disponíveis (com elevadores)	298,0 s	240,0 s	538,0 s
Saída central e do Spa disponíveis (com elevadores)	297,0 s	240,0 s	537,0 s
Saída lateral e do Spa disponíveis (com elevadores)	315,0 s	240,0 s	555,0 s

Através da Tabela 8 é possível verificar que nesta estratégia de evacuação, à semelhança do que acontece com a estratégia 4, a utilização dos elevadores por parte dos ocupantes do piso 9 resulta numa diminuição do tempo total de evacuação em comparação com os cenários onde não são utilizados os elevadores. Por outro lado, entre todos os cenários simulados, aquele que apresenta o menor tempo total de evacuação é o cenário onde a evacuação é realizada pela porta central e pela porta do Spa, com os elevadores em funcionamento.

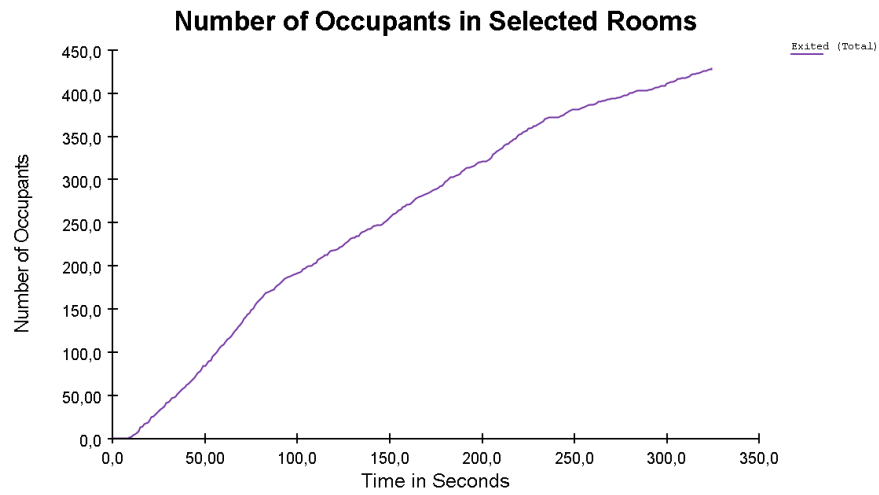
Os gráficos apresentados nas Figuras 100 a 105, referentes à simulação sem elevadores, mostram, consoante o cenário simulado, a evolução da evacuação ao longo do tempo e o fluxo de pessoas em cada uma das portas de saída.



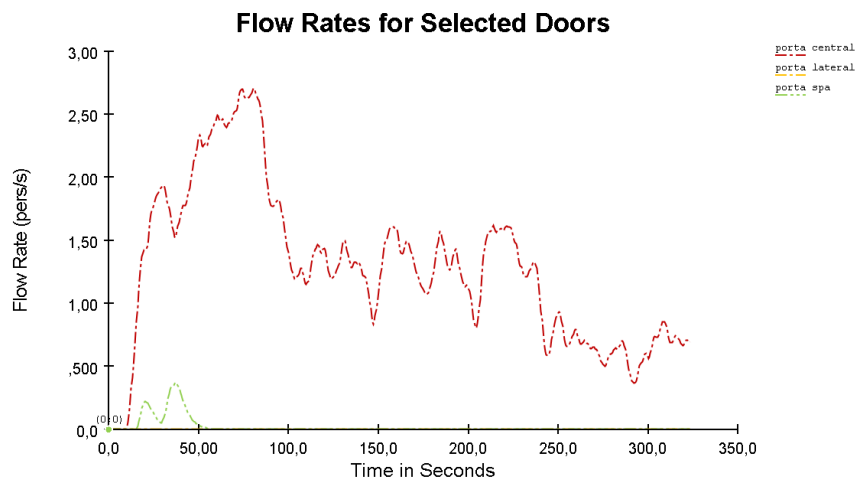
**Figura 100** Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação sem elevadores com a saída central e lateral disponíveis (estratégia 5).



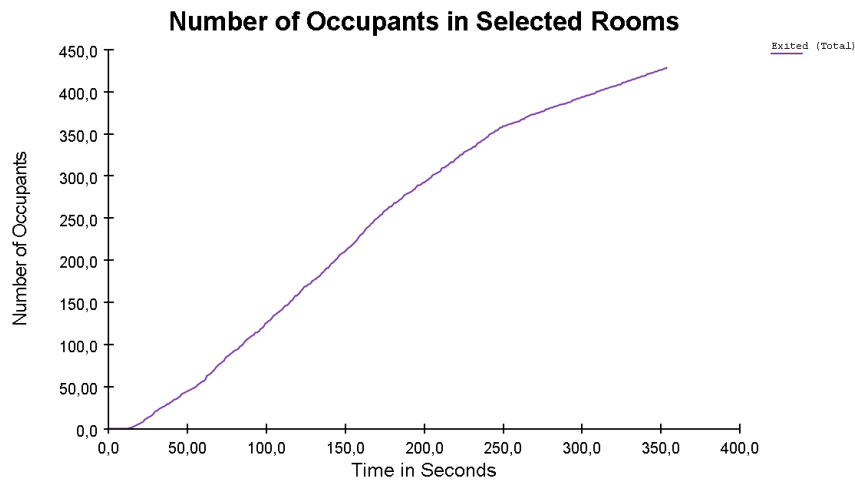
**Figura 101** Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída central e lateral referente à simulação sem elevadores (estratégia 5).



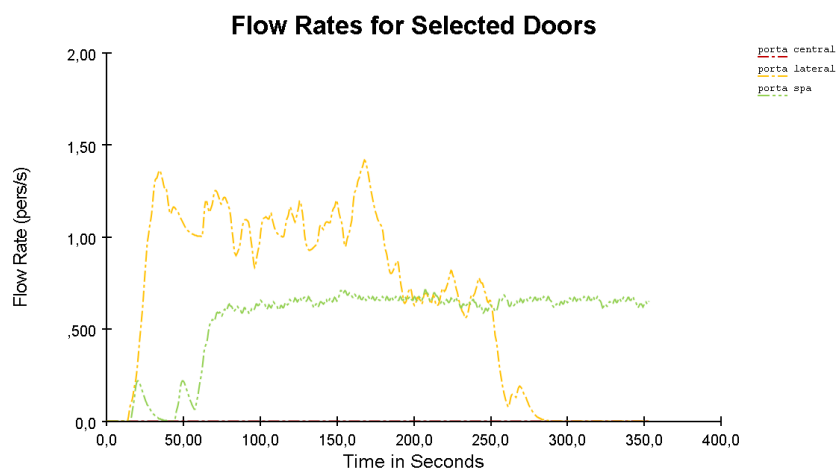
**Figura 102** Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação sem elevadores com a saída central e do Spa disponíveis (estratégia 5).



**Figura 103** Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída central e do Spa referente à simulação sem elevadores (estratégia 5).



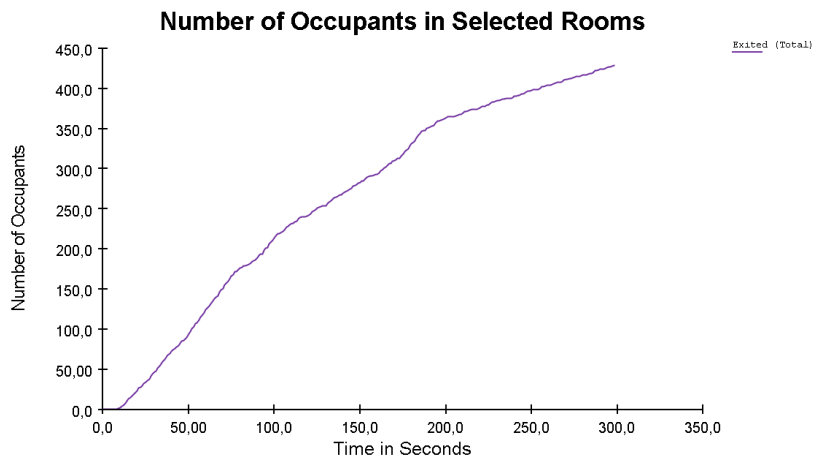
**Figura 104** Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação sem elevadores com a saída lateral e do Spa disponíveis (estratégia 5).



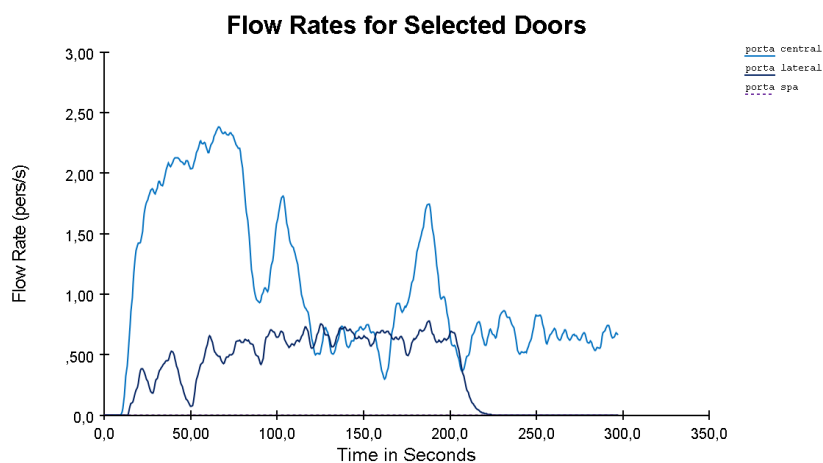
**Figura 105** Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída lateral e do Spa referente à simulação sem elevadores (estratégia 5).

Através dos gráficos anteriores é possível concluir que a porta de saída central desempenha um papel importante nesta estratégia, uma vez que, quando esta não se encontra disponível, o tempo total de evacuação aumenta. Por outro lado, podemos verificar pelo gráfico da Figura 104 que neste cenário os ocupantes foram quase todos evacuados pela porta de saída central, com um tempo total de evacuação praticamente igual ao cenário com a porta de saída central e lateral disponíveis.

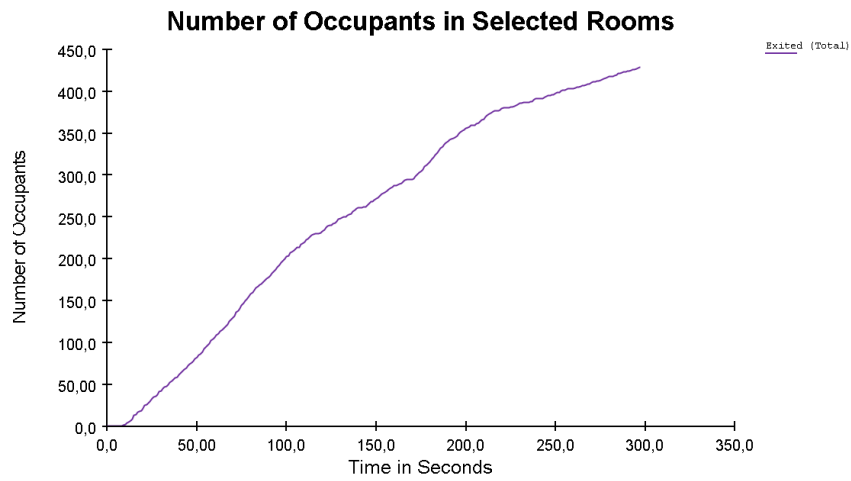
Os gráficos apresentados nas Figuras 106 a 111, referentes à simulação com elevadores, mostram, consoante o cenário simulado, a evolução da evacuação ao longo do tempo e o fluxo de pessoas em cada uma das portas de saída.



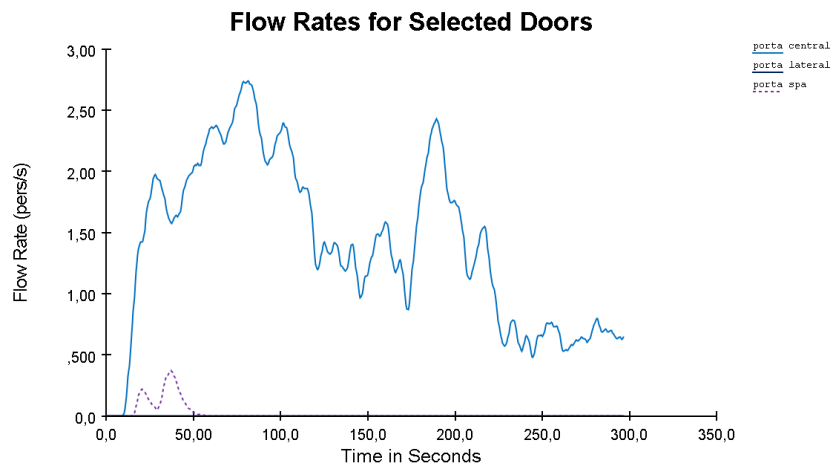
**Figura 106** Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação com elevadores com a saída central e lateral disponíveis (estratégia 5).



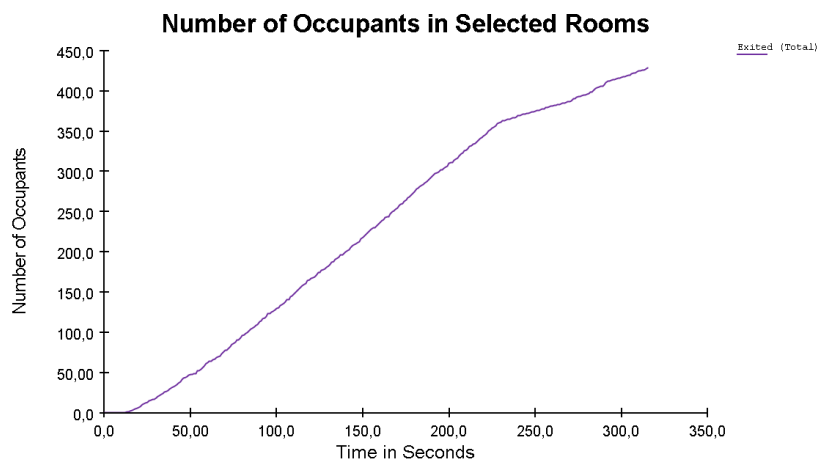
**Figura 107** Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída central e lateral referente à simulação com elevadores (estratégia 5).



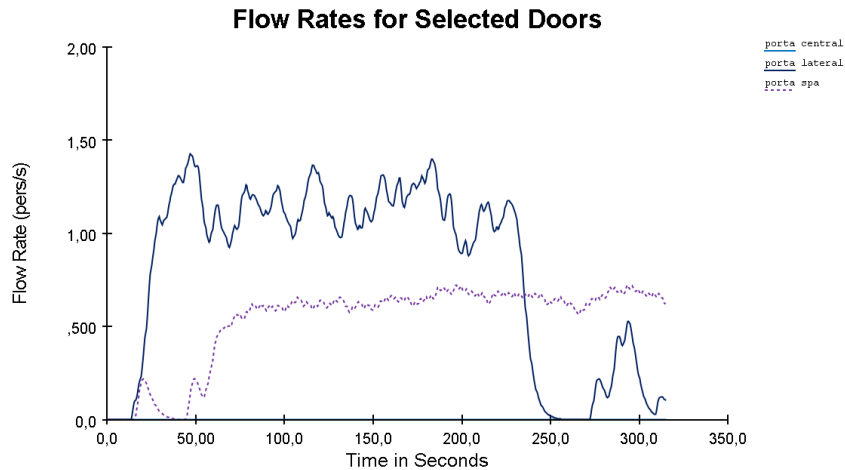
**Figura 108** Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação com elevadores com a saída central e do Spa disponíveis (estratégia 5).



**Figura 109** Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída central e do Spa referente à simulação com elevadores (estratégia 5).



**Figura 110** Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação com elevadores com a saída lateral e do Spa disponíveis (estratégia 5).



**Figura 111** Gráfico do fluxo de pessoas nas portas de saída lateral e do Spa referente à simulação com elevadores (estratégia 5).

Com os gráficos apresentados e com os resultados da simulação é possível concluir que, nesta estratégia, a evacuação dos ocupantes do piso 9 através dos elevadores permite diminuir o tempo total de evacuação. Analisando os gráficos das Figuras 107, 109 e 111 é possível concluir, à semelhança dos cenários sem elevador, que a porta de saída central desempenha um papel importante na evacuação dos ocupantes, sendo a porta mais utilizada pelos ocupantes para realizarem a evacuação para o exterior do edifício. É ainda possível verificar a importância da evacuação dos ocupantes do piso 9 pelos elevadores, uma vez que nas Figuras 107 e 109 são visíveis dois principais picos no gráfico (aproximadamente aos 100 segundos e aos 180 segundos), os quais representam um aumento no fluxo de pessoas na porta de saída central, devido a chegada dos ocupantes do piso 9 através dos elevadores.

À semelhança do que acontece na estratégia 4, os elevadores nesta estratégia permitem a diminuição do tempo total de evacuação do edifício.

### **3.2.3.6 ESTRATÉGIA 6 – CENÁRIOS COM 1 SAÍDA DO HOTEL DISPONÍVEL, COM ORIENTAÇÃO (COM E SEM ELEVADORES)**

A estratégia 6 permite, à semelhança das estratégias 4 e 5, uma evacuação orientada dos 429 ocupantes em direção às saídas, no entanto, apenas está disponível uma das três portas de saída do hotel.

Tal como na estratégia 4 e 5, nesta estratégia foram simulados cenários com e sem a utilização de elevadores, por forma a se perceber o impacto dos mesmo na evacuação dos ocupantes. Os elevadores apenas são utilizados para evacuar os ocupantes do piso 9.

Os resultados das simulações para os cenários elaborados encontram-se exibidos na Tabela 9.

**Tabela 9** Tempos de evacuação resultantes da simulação da estratégia 6 (com e sem elevador).

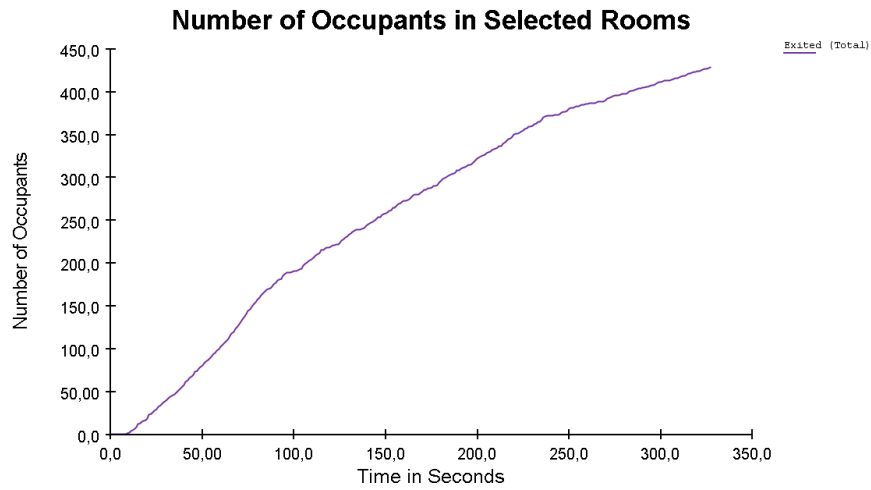
Cenários	Resultados da simulação	Tempo de pré-evacuação (CFPA Europe, 2009)	Tempo total de evacuação
Saída central disponível (sem elevadores)	327,0 s	240,0 s	567,0 s
Saída lateral disponível (sem elevadores)	387,8 s	240,0 s	627,8 s
Saída do Spa disponível (sem elevadores)	709,0 s	240,0 s	949,0 s
Saída central disponível (com elevadores)	297,5 s	240,0 s	537,5 s
Saída lateral disponível (com elevadores)	412,5 s	240,0 s	652,5 s
Saída do Spa disponível (com elevadores)	707,0 s	240,0 s	947,0 s

Através da Tabela 9 é possível verificar que, nesta estratégia, a evacuação mais rápida foi obtida no cenário com a porta de saída central disponível e com a utilização dos elevadores por parte dos ocupantes do piso 9. A evacuação mais lenta foi obtida no cenário com a porta de saída do Spa disponível e sem os elevadores em funcionamento.

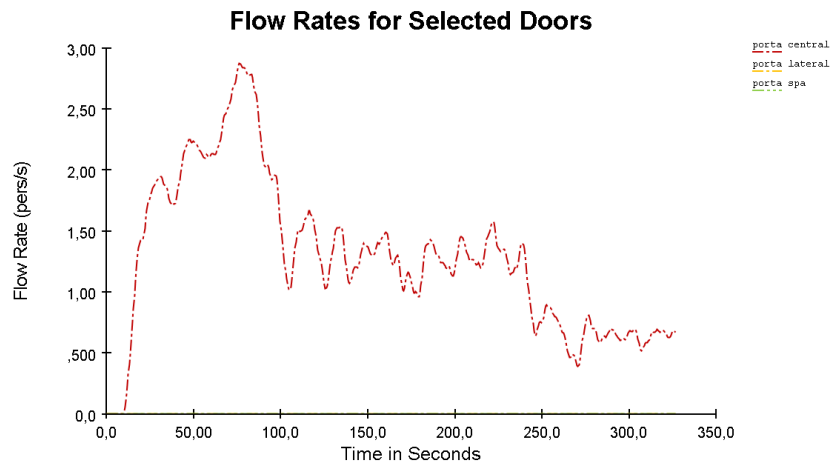
No geral, com a exceção dos cenários em que apenas a saída lateral está disponível, pode concluir-se que, nesta estratégia de evacuação, a utilização dos elevadores para a evacuação dos ocupantes do piso 9 diminui o tempo total de evacuação, à semelhança do que acontece com as estratégias 4 e 5.

Os gráficos apresentados nas Figuras 112 a 117, referentes à simulação sem elevadores, mostram, consoante o cenário simulado, a evolução da evacuação ao longo do tempo e o fluxo de pessoas em cada uma das portas de saída.

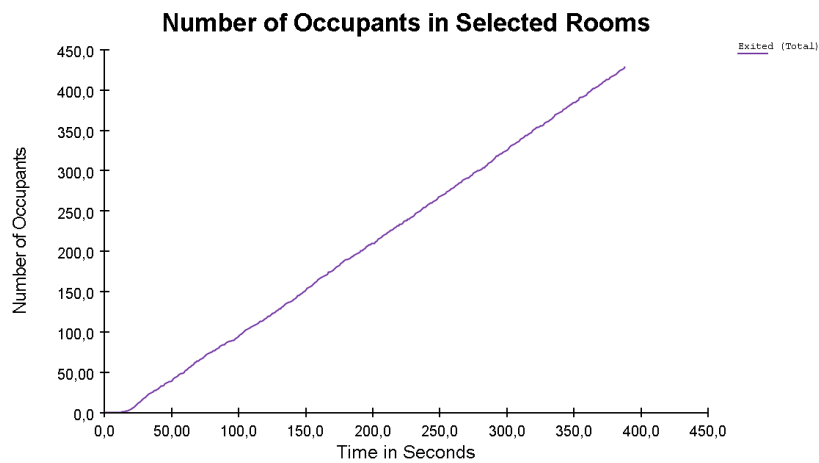




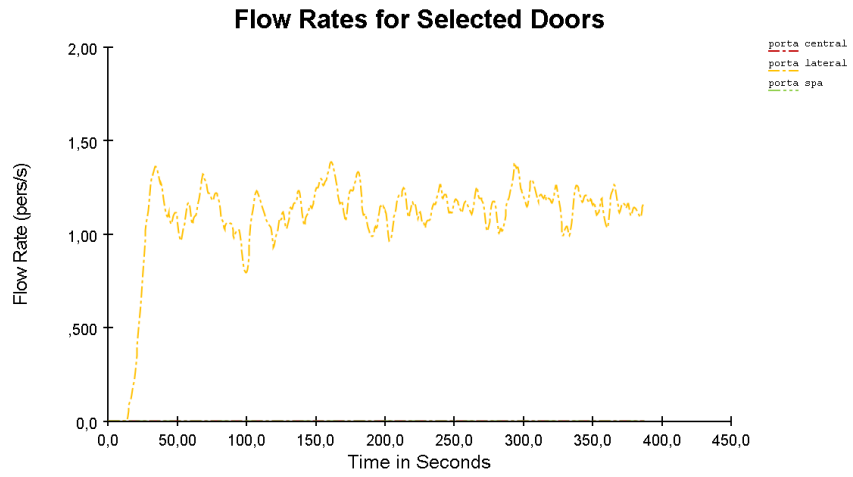
**Figura 112** Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação sem elevadores com a saída central disponível (estratégia 6).



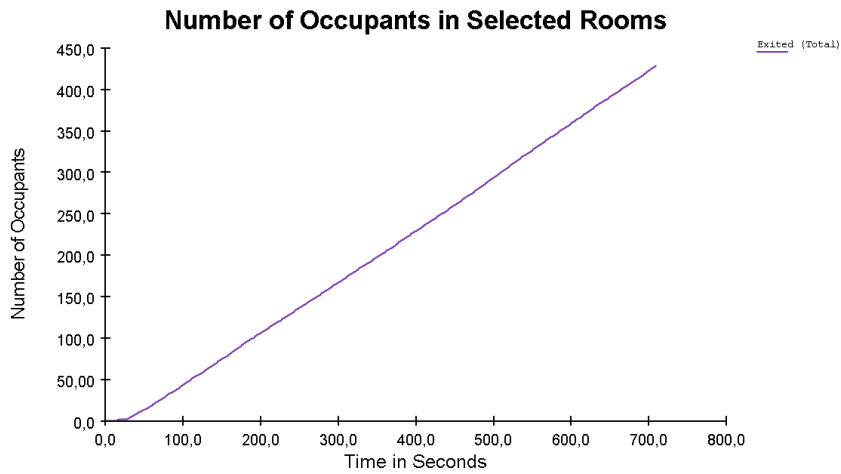
**Figura 113** Gráfico do fluxo de pessoas na porta de saída central referente à simulação sem elevadores (estratégia 6).



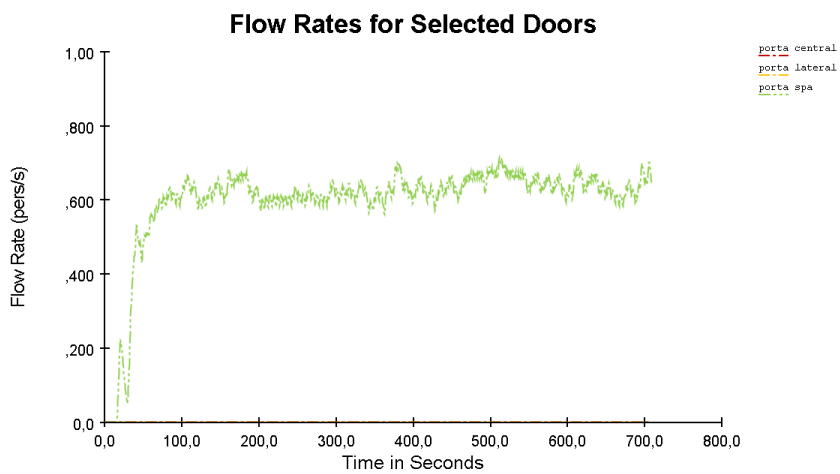
**Figura 114** Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação sem elevadores com a saída lateral disponível (estratégia 6).



**Figura 115** Gráfico do fluxo de pessoas na porta de saída lateral referente à simulação sem elevadores (estratégia 6).



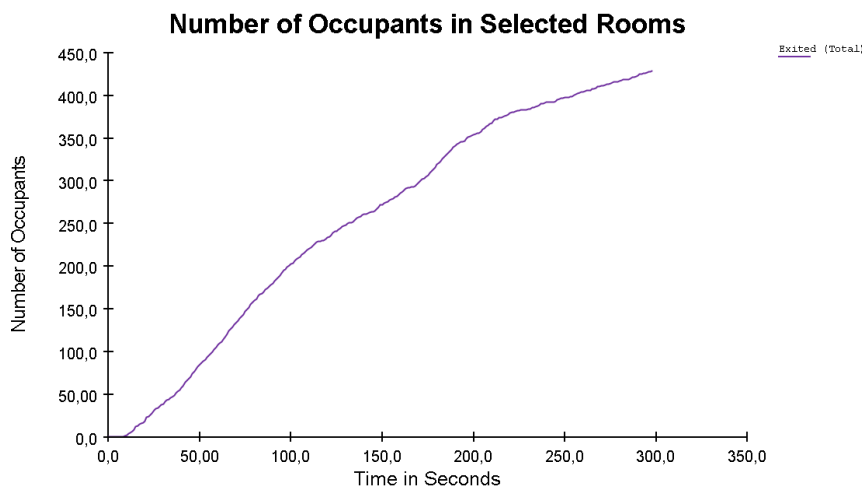
**Figura 116** Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação sem elevadores com a saída do Spa disponível (estratégia 6).



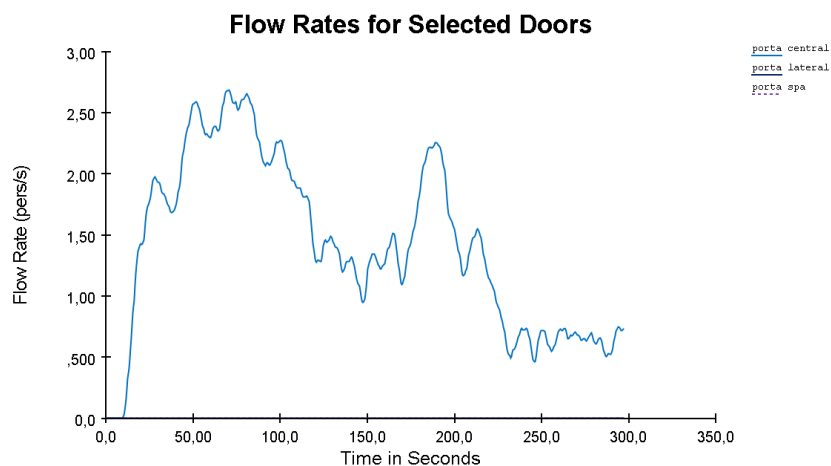
**Figura 117** Gráfico do fluxo de pessoas na porta de saída do Spa referente à simulação sem elevadores (estratégia 6).

Através dos gráficos anteriores é possível concluir que, quando está disponível apenas a porta de saída lateral ou a porta de saída do spa é atingido um fluxo máximo de pessoas nestas portas, originando uma grande acumulação de pessoas junto das mesmas. Por outro lado, o cenário em que apenas está disponível a porta de saída central, permite uma maior velocidade de evacuação e por conseguinte um tempo total de evacuação menor.

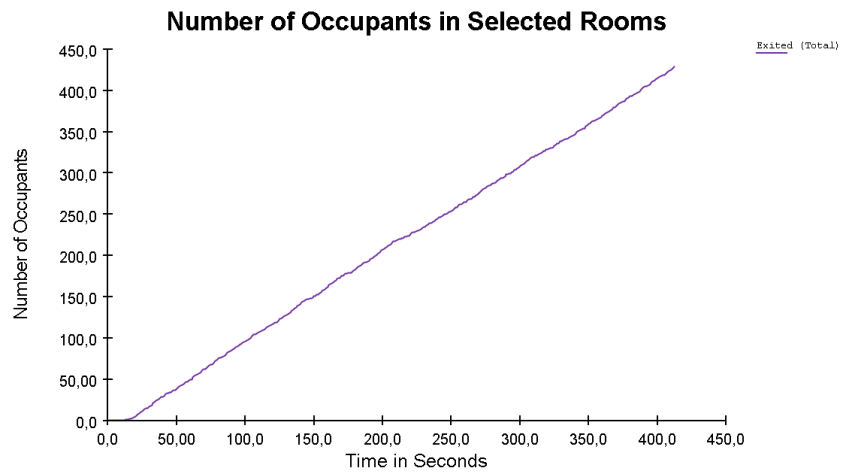
Os gráficos apresentados nas Figuras 118 a 123, referentes à simulação com elevadores, mostram, consoante o cenário simulado, a evolução da evacuação ao longo do tempo e o fluxo de pessoas em cada uma das portas de saída.



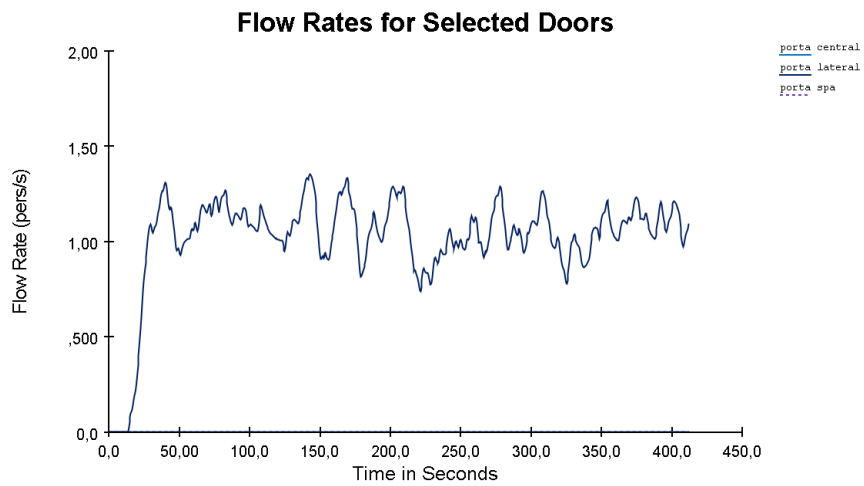
**Figura 118** Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação com elevadores com a saída central disponível (estratégia 6).



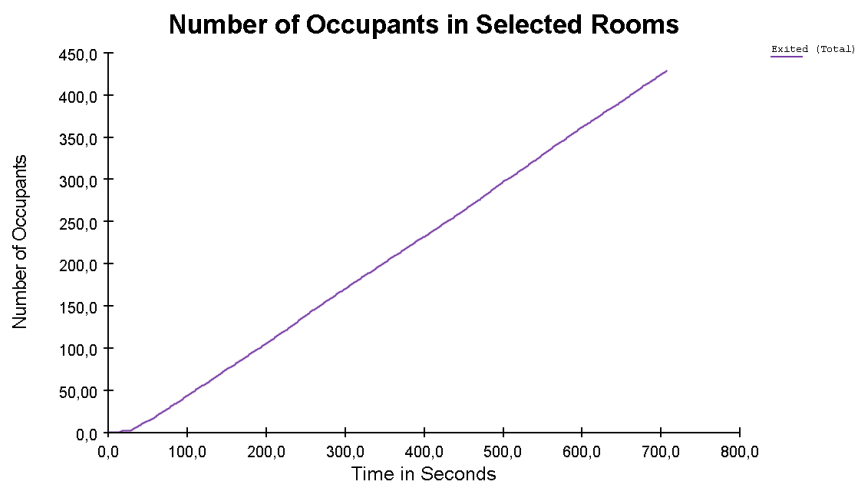
**Figura 119** Gráfico do fluxo de pessoas na porta de saída central referente à simulação com elevadores (estratégia 6).



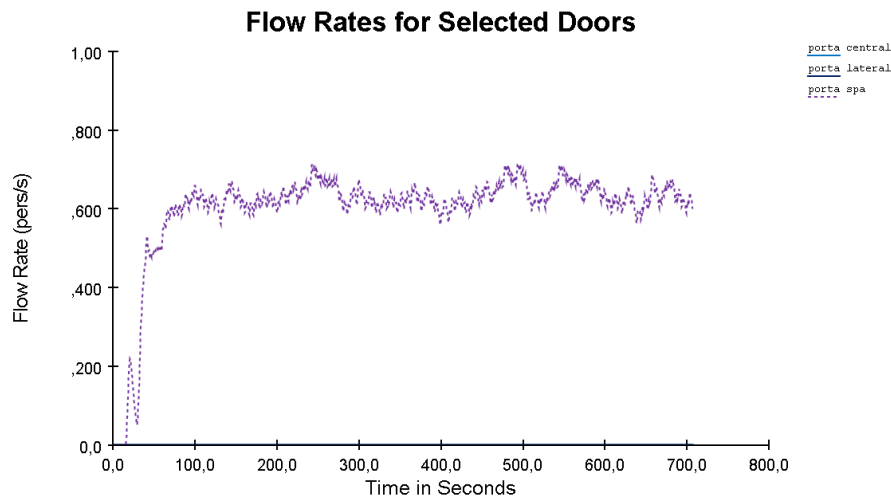
**Figura 120** Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação com elevadores com a saída lateral disponível (estratégia 6).



**Figura 121** Gráfico do fluxo de pessoas na porta de saída lateral referente à simulação com elevadores (estratégia 6).



**Figura 122** Gráfico da evolução da evacuação referente à simulação com elevadores com a saída do Spa disponível (estratégia 6).



**Figura 123** Gráfico do fluxo de pessoas na porta de saída do Spa referente à simulação com elevadores (estratégia 6).

Na Figura 119 é visível um aumento no fluxo de pessoas na porta de saída central, aproximadamente aos 100 segundos e aos 180 segundos, em comparação com o cenário onde não são utilizados os elevadores. Este aumento representa o momento em que os ocupantes do piso são evacuados após terem chegado ao piso 0 através dos elevadores, o que posteriormente origina uma diminuição no tempo total de evacuação em comparação com o cenário onde não são utilizados os elevadores. Por outro lado, os elevadores influenciam negativamente a evacuação quando apenas está disponível a porta de saída lateral, uma vez que, aumentam o tempo total de evacuação.

Tal como acontece na estratégia 3, não foi obtida uma alteração significativa no tempo total de evacuação entre o cenário com os elevadores em funcionamento e a porta de saída do spa disponível e o cenário com a mesma porta disponível, mas sem os elevadores em funcionamento. Isto deve-se ao facto de a largura do caminho de evacuação junto ao spa ser muito reduzido para o número de ocupantes que necessita de passar por este espaço, gerando assim uma grande acumulação de ocupantes, o que resulta num tempo total de evacuação próximo nos dois cenários.

### 3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tal como foi possível analisar anteriormente, a forma como são utilizados os elevadores, a escolha das rotas de evacuação por parte dos ocupantes, o número de portas disponíveis para a saída do edifício e a localização das mesmas, influenciam o tempo total de evacuação do edifício.

Nas estratégias e respetivos cenários estudados, foi possível comprovar que quando os elevadores estão disponíveis em todos os pisos do hotel, os ocupantes tendem a utilizar estes como meio para se deslocarem para o piso 0, o que resulta num aumento do tempo necessário para a total evacuação do edifício e uma grande acumulação de pessoas junto a estes, uma vez que os elevadores não têm capacidade para evacuar todos os pisos num curto espaço de tempo. Por outro lado, a evacuação apenas dos pisos superiores, neste caso do piso 9, resulta, em geral, numa diminuição do tempo total de evacuação.

A orientação dos ocupantes em direção a determinados caminhos/vias de evacuação verificou-se fundamental, dado que, permitiu diminuir a acumulação dos ocupantes no trajeto com menor distância em direção a uma saída, diminuindo em geral o tempo total de evacuação do edifício.

A disponibilidade das portas de saída do edifício é também fundamental na evacuação do hotel, verificando-se, em geral, que a porta de saída central e lateral do edifício, quando estão disponíveis, são as que permitem diminuir consideravelmente o tempo total de evacuação do edifício, por outro lado, a porta de saída do spa não permite um grande fluxo de pessoas, devido a largura do caminho de evacuação junto a esta ser muito reduzido para o número de ocupantes que necessita de passar por este espaço, gerando uma grande acumulação de pessoas nesta zona.

Após a análise dos resultados da simulação de cada estratégia foi possível concluir que todas as estratégias estudadas apresentam um tempo total de evacuação inferior a 1800 segundos (máximo tempo total de evacuação sugerido pela literatura para a evacuação de um edifício (ANPC, 2014)). Contudo, torna-se necessário averiguar qual das estratégias apresenta o cenário com o menor tempo total de evacuação. Para tal, é apresentado na Tabela 10 o tempo total de evacuação do melhor cenário de cada uma das seis estratégias estudadas.

**Tabela 10** Tempo total de evacuação do melhor cenário de cada estratégia.

Estratégias	Cenários	Tempo total de evacuação
1	Sem elevadores	664,0 s
2	Saída lateral e do Spa disponíveis (sem elevadores)	610,3 s
3	Saída lateral disponível (sem elevadores)	628,5 s
4	Com elevadores	536,0 s
5	Saída central e do Spa disponíveis (com elevadores)	537,0 s
6	Saída central disponível (com elevadores)	537,5 s

Em suma, com base na Tabela 10 é possível verificar que os melhores cenários das estratégias 4, 5 e 6 apresentam um tempo total de evacuação muito aproximado. Contudo, o cenário da estratégia 4, com as três saídas disponíveis e com os elevadores também disponíveis, é o que apresenta o menor tempo total de evacuação de todas as estratégias estudadas.

# 4. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito da unidade curricular de Dissertação do Curso de Mestrado de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, no ramo de Sistemas e Planeamento Industrial.

O tema consistiu no desenvolvimento de um modelo de simulação, por forma a analisar e melhorar o processo de evacuação de um hotel. Foram estudadas diversas estratégias de evacuação, por forma a se verificar o seu impacto no processo de evacuação e de se obter o cenário com o menor tempo total de evacuação.

Durante a realização deste trabalho foram encontradas algumas dificuldades, em consequência do conhecimento nulo relativo ao *software* Pathfinder, levando a uma necessidade inicial de aprendizagem, com recurso ao apoio fornecido pelo próprio *software*, no que toca ao desenvolvimento de um modelo de simulação.

Nos subcapítulos seguintes são apresentados as principais conclusões e contributos do trabalho, assim como propostas de melhoria do mesmo.



## 4.1 PRINCIPAIS CONTRIBUTOS DO TRABALHO

A presente dissertação foi desenvolvida por forma a estudar, com recurso à simulação computacional, a evacuação do hotel Axis no Porto. Isto permitiu estudar diversas estratégias de evacuação, de modo a melhorar o processo de evacuação e analisar qual a estratégia que permite diminuir o tempo total de evacuação do hotel. Os resultados obtidos permitem verificar certas condições que são fundamentais na evacuação do hotel:

- A não existência de orientação em direção a caminhos/vias de evacuação, resulta, no geral, num grande congestionamento na escadaria central do hotel;
- Com os elevadores disponíveis para a evacuação de todos os pisos do hotel, verifica-se um aumento considerável do tempo total de evacuação e um grande congestionamento junto dos mesmos;
- A evacuação apenas dos pisos superiores, neste caso do piso 9, resulta, em geral, numa diminuição do tempo total de evacuação;
- A orientação dos ocupantes em direção a determinados caminhos/vias de evacuação permitiu diminuir, em geral, o tempo total de evacuação do edifício;
- A porta de saída central e lateral do edifício permitem diminuir consideravelmente o tempo total de evacuação do edifício;
- A evacuação do edifício com as três portas disponíveis (central, lateral e spa), com a orientação dos ocupantes em direção aos caminhos/vias de evacuação e com a utilização dos elevadores mostrou ser a estratégia com o menor tempo total de evacuação, sendo necessários 536 segundos para realizar toda a evacuação.

## 4.2 TRABALHOS FUTUROS

De modo a aprofundar o tema do estudo realizado e sabendo que este trabalho tem algumas limitações e pode ser estendido em diversos domínios, são descritos abaixo possíveis trabalhos futuros ou melhoramentos que possam ser levados em consideração:

- Verificar o impacto da ocorrência de um incêndio na evacuação do edifício, com recurso ao software *PyroSim*, integrando posteriormente os resultados no Pathfinder;

- Estudar o impacto da alteração da velocidade de deslocação dos ocupantes no processo de evacuação;
- Simular a existência de ocupantes com mobilidade reduzida, por forma a verificar o seu impacto no processo de evacuação do hotel;
- Estudar o impacto do distanciamento social no processo de evacuação do hotel (*Social Distance Behavior*).



## Referências Documentais

- ANPC. (2014). *Medidas de Autoproteção de segurança contra incêndios em edifícios*. <http://www.prociiv.pt/bk/Documents/Medidas de Autoproteção de SCIE - Vol I.pdf>
- Ares, E., Pelaez, G., Ferreira, L. P., Prieto, D., & Chao, A. (2012). Optimisation of a Production Line using Simulation and Lean Techniques. *Proceedings of the Operational Research Society Simulation Workshop 2012*, 177–183.
- Asgary, A., & Yang, P. L. C. (2016). Simulating campus evacuation: Case of York university. *Simulation Series*, 48(9), 380–385. <https://doi.org/10.22360/summersim.2016.scsc.062>
- Ashraf Tashrifullahi, S., & Hassanain, M. A. (2013). A simulation model for emergency evacuation time of a library facility using EVACNET4. *Structural Survey*, 31(2), 75–92. <https://doi.org/10.1108/02630801311317509>
- Barker, M., & Zupick, N. (2017). Revisiting the four c's of managing a successful simulation project. In *2017 Winter Simulation Conference (WSC)*, 580–587, Las Vegas, Nevada. <https://doi.org/10.1109/WSC.2017.8247816>
- Barton, R. R. (2020). Tutorial: Metamodeling for Simulation. In *2020 Winter Simulation Conference (WSC), 2013*, 1102–1116.
- Bukowski, R. W., & Tubbs, J. S. (2016). Egress concepts and design approaches. In *SFPE handbook of fire protection engineering*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2565-0>
- Bukowski, Richard W. (2007). Emergency Egress Strategies For Buildings. *Proceedings of the 11th Interflam Conference*, 159–168.
- Caliendo, C., Ciambelli, P., Guglielmo, M. L. De, Meo, M. G., & Russo, P. (2012). Simulation of People Evacuation in the Event of a Road Tunnel Fire. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 53, 178–188. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.871>
- Carmo-Silva, S., Fernandes, N., Thürer, M., & Ferreira, L. P. (2020). Extending the POLCA production control system with centralized job release. *Production*, 30. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20190159>

- CFPA Europe. (2009). Fire safety engineering concerning evacuation from buildings - Guidelines No 19:2009. *CFPA Europe*, 19. [http://www.cfpa-e.eu/wp-content/uploads/files/guidelines/CFPA\\_E\\_Guideline\\_No\\_19\\_2009.pdf](http://www.cfpa-e.eu/wp-content/uploads/files/guidelines/CFPA_E_Guideline_No_19_2009.pdf)
- Chen, Q., Zheng, N., & Bai, Y. (2020). Simulation and optimization of pedestrian regular evacuation in comprehensive rail transit hub – a case study in Beijing. *Promet-Traffic&Transportation*, 32(3), 383–397. <https://doi.org/10.7307/ptt.v32i3.3318>
- Chen, Y., Wang, C., Hui Yap, J. B., Li, H., & Zhang, S. (2020). Emergency evacuation simulation at starting connection of cross-sea bridge: Case study on Haicang Avenue Subway Station in Xiamen Rail Transit Line. *Journal of Building Engineering*, 29(March 2019), 101163. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.101163>
- Chi, J. H. (2014). Using FDS program and an evacuation test to develop hotel fire safety strategy. *Journal of the Chinese Institute of Engineers, Transactions of the Chinese Institute of Engineers, Series A*, 37(3), 288–299. <https://doi.org/10.1080/02533839.2013.781796>
- Choi, B. K., & Kang, D. (2013). *Modeling and simulation of discrete event systems* (John Wiley & Sons (eds.)).
- Choochart, & Thipyopas. (2020). Study of Passenger Evacuation from the Airbus A330-300 Aircraft. *Proceedings*, 39(1), 25. <https://doi.org/10.3390/proceedings2019039025>
- Crowe, S., Cresswell, K., Robertson, A., Huby, G., Avery, A., & Sheikh, A. (2011). The Case Study Approach. *BMC Medical Research Methodology*, 11(1), 1–9.
- Ding, N., Chen, T., Zhu, Y., & Lu, Y. (2021). State-of-the-art high-rise building emergency evacuation behavior. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 561, 125168. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2020.125168>
- Esteves, M., & Calmeiro, C. (2015). Plano de emergência em edifícios – problemática da evacuação em utentes com capacidades vulneráveis. *Agroforum: Revista Da Escola Superior Agrária de Castelo Branco*, 23–37.
- Ferreira, L. P., Ares, E., Peláez, G., Resano, A., Luis, C. J., & Tjahjono, B. (2012a). Simulation of a closed-loops assembly line. *Key Engineering Materials*, 502, 127–132.

<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.502.127>

- Ferreira, L. P., E. Ares, G., G.C. Pelaez, L., & Salgado, M. (2011). Analysis on The Influence of the Number of Pallets Circulating on an Automobile Closed-Loops Assembly Line. *DAAAM International Scientific Book 2010*, 2(2), 119–123.
- Ferreira, L. P., Gómez, E. A., Lourido, G. C. P., Quintas, J. D., & Tjahjono, B. (2012b). Analysis and optimisation of a network of closed-loop automobile assembly line using simulation. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 59(1–4), 351–366. <https://doi.org/10.1007/s00170-011-3502-4>
- Ferreira, L. P., Gómez, E. A., Lourido, G. P., & Tjahjono, B. (2013). Modeling a complex production line using virtual cells. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 130 LNEE, 361–373. [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-2317-1\\_30](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-2317-1_30)
- Ferreira, L.P., Ares, E., Peláez, G., Marcos, M., & Araújo, M. (2012c). A Methodology to Evaluate Complex Manufacturing Systems through Discrete-Event Simulation Models. *International Journal of Advanced Engineering Sciences and Technologies (IJAEEST)*, 2(2), 119–123. <https://doi.org/https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.502.7>
- Ferreira, L.P., Ares, E., Pelaez, L. G. C., & Salgado, M. (2010). Analysis of the Influence of Conveyor Speed on the Behaviour of an Automobile Assembly Line. In B. Katalinic (Ed.), *DAAAM International Scientific Book 2010* (pp. 463–470). DAAAM International, ISBN 978-3-901509-74-2, ISSN 1726-9687, Vienna, Austria. <https://doi.org/DOI:10.2507/daaam.scibook.2010.41>
- Ferreira, Luís Pinto. (2003). Geração Automática de Modelos de Simulação de uma Linha de Produção na Indústria Electrónica. In *Dissertação de mestrado em engenharia industrial, Área de Especialização em Logística e Distribuição*. Universidade do Minho.
- Filippoupolitis, A., & Gelenbe, E. (2009). A distributed decision support system for building evacuation. *Proceedings - 2009 2nd Conference on Human System Interactions*, 323–330, Catania, Italy. <https://doi.org/10.1109/HSI.2009.5091000>
- 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. <https://doi.org/10.1007/s10694-019-00881-1>

Fu, L., Cao, S., Song, W., & Fang, J. (2019). The influence of emergency signage on building evacuation behavior: An experimental study. *Fire and Materials*, 43(1), 22–33. <https://doi.org/10.1002/fam.2665>

Garcia-Ojeda, J. C., Bertok, B., & Friedler, F. (2012). Planning evacuation routes with the P-graph framework. *Chemical Engineering Transactions*, 29, 1531–1536. <https://doi.org/10.3303/CET1229256>

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), 247–255. <https://doi.org/10.22161/ijaers.5.7.32>

Gershon, R. R., Magda, L. A., Riley, H. E., & Sherman, M. F. (2012). The World Trade Center evacuation study: Factors associated with initiation and length of time for evacuation. *Fire and Materials*, 481–500.

Gershon, R. R., Qureshi, K. A., Rubin, M. S., & Raveis, V. H. (2007). Factors associated with high-rise evacuation: Qualitative results from the world trade center evacuation study. *Prehospital and Disaster Medicine*, 22(3), 165–173. <https://doi.org/10.1017/S1049023X0000460X>

Google. (2021). *Google Maps*. <https://www.google.com/maps/>

Governo Português. (2009). *Portaria n.º 1532/2008, o regime jurídico de segurança contra incêndio em edifícios*. 9050–9127.

Hadzic, T., Brown, K. N., & Sreenan, C. J. (2011). Real-time pedestrian evacuation planning during emergency. *Proceedings - International Conference on Tools with Artificial Intelligence, ICTAI*, 597–604, Boca Raton, Florida. <https://doi.org/10.1109/ICTAI.2011.95>

Hamacher, H. W., & Tjandra, S. A. (2002). Mathematical modelling of evacuation problems: a state of the art. *Pedestrian and Evacuation Dynamics*, 24(24), 227–266.

Hao, X., Zhu, S., Li, X., & Zhuang, W. (2019). Research on Personnel Evacuation of

- Departure Platform of Nanjing South Railway Station Based on Anylogic. *Proceedings of 2018 IEEE International Conference of Safety Produce Informatization, IICSPI 2018*, 62–66, Chongqing, China. <https://doi.org/10.1109/IICSPI.2018.8690367>
- Hassannayebi, E., Memarpour, M., Mardani, S., Shakibayifar, M., Bakhshayeshi, I., & Espahbod, S. (2020). A hybrid simulation model of passenger emergency evacuation under disruption scenarios: A case study of a large transfer railway station. *Journal of Simulation*, *14*(3), 204–228. <https://doi.org/10.1080/17477778.2019.1664267>
- Helbing, D., & Johansson, A. (2012). Pedestrian, Crowd, and Evacuation Dynamics. *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*, 1–28. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-27737-5\\_382-5](https://doi.org/10.1007/978-3-642-27737-5_382-5)
- Hollocks, B. W. (2017). A history of simulation development in the United Kingdom. *In 2017 Winter Simulation Conference (WSC)*, 60–74, Las Vegas, Nevada. <https://doi.org/10.1109/WSC.2017.8247321>
- Jevtic, R. (2016). Evacuation from tunnels: An example of the Strazevica tunnel. *Vojnotehnicki Glasnik*, *64*(3), 754–768. <https://doi.org/10.5937/vojtehg64-9378>
- Jevtić, R. B. (2015). The simulation of sanitary objects evacuation: An example of hotel “Radon” in Niška Banja. *Tehnika*, *70*(3), 545–550. <https://doi.org/10.5937/tehnika1503545j>
- Jiang, Z. M., Zhang, P. H., Shang, R. X., & Tian, X. L. (2014). Investigation and simulation on human evacuation behaviour in large hospital building in Shenyang. *Procedia Engineering*, *71*, 101–106. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.04.014>
- Jiaojiao, X., & Jin, L. (2019). Simulation Study on Emergency Evacuation of Metro Stations in Fire Degradation Mode. *Journal of Physics: Conference Series*, *1187*(5). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1187/5/052072>
- Katharina Fahl, S. (2017). Benefits of Discrete Event Simulation in Modeling Mining Processes. *Education & Research Archive (University of Alberta)*, 1–6.
- Kobes, M., Helsloot, I., de Vries, B., & Post, J. (2010a). Building safety and human behaviour in fire: A literature review. *Fire Safety Journal*, *45*(1), 1–11.



<https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2009.08.005>

Kobes, M., Helsloot, I., de Vries, B., & Post, J. (2010b). Exit choice,(pre-) movement time and (pre-) evacuation behaviour in hotel fire evacuation—Behavioural analysis and validation of the use of serious gaming in experimental research. *Procedia Engineering*, 3, 37–51.

Law, A. M. (2019). How to Build Valid and Credible Simulation Models. In *2019 Winter Simulation Conference (WSC)*, 1402–1414, National Harbor, Maryland. <https://doi.org/10.1109/WSC40007.2019.9004789>

Lazarova-Molnar, S., & Li, X. (2019). Deriving simulation models from data: steps of simulation studies revisited. *Proceedings of the 2019 Winter Simulation Conference*, 2771–2782, National Harbor, Maryland. <https://doi.org/10.1109/WSC40007.2019.9004697>

Leathrum, J. F., Collins, A. J., Cotter, T. S., Lynch, C. J., & Gore, R. (2020). Education in Analytics Needed for the Modeling & Simulation Process. In *2020 Winter Simulation Conference (WSC)*, 3236–3247. <https://doi.org/10.1109/WSC48552.2020.9384122>

Lee, D., Yoon, S., Park, E. S., Kim, Y., & Yoon, D. K. (2018). Factors contributing to disaster evacuation: The case of South Korea. *Sustainability (Switzerland)*, 10(10), 1–16. <https://doi.org/10.3390/su10103818>

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. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.12.025>

Liu, C., Mao, Z, L., & Fu, Z. M. (2016). Emergency evacuation model and algorithm in the building with several exits. *Procedia Engineering*, 135, 12–18.

Lovreglio, R., Kuligowski, E., Gwynne, S., & Boyce, K. (2019). A pre-evacuation database for use in egress simulations. In *Fire Safety Journal* (Vol. 105). <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2018.12.009>

Lovreglio, Ruggiero. (2018). A Review of Augmented Reality Applications for Building Evacuation. In *17th International Conference on Computing in Civil and Building*

*Engineering*, Tampere, Finland.

- Macal, C., & North, M. (2014). Introductory tutorial: Agent-based modeling and simulation. *In Proceedings of the Winter Simulation Conference 2014*, 6–20, Savannah, Georgia. <https://doi.org/10.1109/WSC.2014.7019874>
- Mansor, H., Sahol Hamid, Y., Suliman, N. H., Ahmad, N., & Hamzah, N. (2019). Evacuation egress in high rise building: Review of the current design evacuation solution. *MATEC Web of Conferences*, 258, 03012. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201925803012>
- Marchau, V., Walker, W., Bloemen, P., & Popper, S. (2019). Decision Making Under Deep Uncertainty. From Theory to Practice. In *Springer Nature*.
- Meng, Y., & Jia, C. (2017). Research and application of metro station evacuation simulation. *Proceedings - 2017 4th International Conference on Information Science and Control Engineering, ICISCE 2017*, 1123–1125. <https://doi.org/10.1109/ICISCE.2017.233>
- Meyer, C. B. (2001). A Case in Case Study Methodology. *Field Methods*, 13(4), 329–352. <https://doi.org/10.1177/1525822X0101300402>
- Ng, C. M. Y., & Chow, W. K. (2006). A Brief Review on the Time Line Concept in Evacuation. *International Journal on Architectural Science*, 7(1), 1–13.
- Nguyen, K. T. Q., Mendis, P., & Fernando, S. (2019). Novel modelling approach for evacuation strategies of tall towers - A case study of Lotus Tower. *Journal of Building Engineering*, 25(April), 100763. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100763>
- Pelechano, N., & Malkawi, A. (2008). Evacuation simulation models: Challenges in modeling high rise building evacuation with cellular automata approaches. *Automation in Construction*, 17(4), 377–385. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2007.06.005>
- 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. <https://doi.org/10.32734/ijau.v3i3.3743>
- Rahouti, A., Lovreglio, R., Gwynne, S., Jackson, P., Datoussaïd, S., & Hunt, A. (2020). Human behaviour during a healthcare facility evacuation drills: Investigation of pre-

- evacuation and travel phases. *Safety Science*, 129(October 2018), 104754. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104754>
- Rodriguez, A., & Wolski, J. (2019). Optimize NIH: Applying computer simulation to improve efficiency and effectiveness in federal government. *Proceedings of the 2019 Winter Simulation Conference*, National Harbor, Maryland.
- Ronchi, E., Corbetta, A., Galea, E. R., Kinateder, M., Kuligowski, E., McGrath, D., Pel, A., Shiban, Y., Thompson, P., & Toschi, F. (2019). New approaches to evacuation modelling for fire safety engineering applications. *Fire Safety Journal*, 106, 197–209. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2019.05.002>
- Ronchi, E., & Nilsson, D. (2013). Fire evacuation in high-rise buildings: a review of human behaviour and modelling research. *Fire Science Reviews*, 2(1), 7. <https://doi.org/10.1186/2193-0414-2-7>
- Sá, J., Ferreira, L. P., Dieguez, T., Sá, J. C., & Silva, F. J. . (2022). Industry 4.0 in the Wine Sector – Development of a Decision Support System Based on Simulation Models. In J. Machado, F. Soares, J. Trojanowska, & V. Ivanov (Eds.), *In International Conference Innovation in Engineering 2021* (pp. 371–384). Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. [https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-78170-5\\_32](https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-78170-5_32)
- Sá, J., Ferreira, L. P., Dieguez, T., Sá, J. C., & Silva, F. J. . (2021). Role of the Industry 4.0 in the Wine Production and Enotourism Sectors. In J. V. de Carvalho, Á. Rocha, P. Liberato, & A. Peña (Eds.), *International Conference on Tourism, Technology and Systems 2020* (Vol. 208, pp. 171–180). Smart Innovation, Systems and Technologies. Springer, Singapore. [https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-33-4256-9\\_16](https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-33-4256-9_16)
- Sargent, R. G. (2020). Verification And Validation Of Simulation Models: An Advanced Tutorial. *In 2020 Winter Simulation Conference (WSC)*. <https://doi.org/10.1109/WSC48552.2020.9384052>
- Satir, M. S., & Toprakli, A. Y. (2020). A Review of Evacuation of High-Rise Buildings. *Gazi University Journal of Science Part B: Art Humanities Design and Planning*, 8(1), 3.

- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2009). *Research methods for business students* (5th ed.). Pearson education.
- Schadschneider, A., Klingsch, W., Klüpfel, H., Kretz, T., Rogsch, C., & Seyfried, A. (2011). Evacuation Dynamics: Empirical Results, Modeling and Applications. *Extreme Environmental Events*, 517–550. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7695-6\\_29](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7695-6_29)
- Schumacher, B. C., & Kohl, H. (2020). Learning Environment for Introduction in Discrete-Event Simulation for Design and Improvement of New and Existing Material Flow Systems. *In 2020 Winter Simulation Conference (WSC)*, 3224–3235. <https://doi.org/10.1109/WSC48552.2020.9384099>
- Shastri, B. A., Raghav, Y. S., & Sahadev, R. (2018). *Advances in Fire and Process Safety*. <http://link.springer.com/10.1007/978-981-10-7281-9>
- Shi, L., Xie, Q., Cheng, X., Chen, L., Zhou, Y., & Zhang, R. (2009). Developing a database for emergency evacuation model. *Building and Environment*, 44(8), 1724–1729. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.11.008>
- Silva, V., Ferreira, L. P., Silva, F. J. G., Tjahjono, B., & Ávila, P. (2021). Simulation-based decision support system to improve material flow of a textile company. *Sustainability (Switzerland)*, 13(5). <https://doi.org/10.3390/su13052947>
- Siyam, N., Alqaryouti, O., & Abdallah, S. (2020). Research Issues in Agent-Based Simulation for Pedestrians Evacuation. *IEEE Access*, 8, 134435–134455. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2956880>
- Sokolowski, J. A., & Banks, C. M. (2011). *Principles of modeling and simulation: a multidisciplinary approach* (John Wiley & Sons (ed.)).
- Sturrock, D. T. (2019). Avoid failures! Tested success tips for simulation project excellence. *In 2019 Winter Simulation Conference (WSC)*, 252–260, National Harbor, Maryland. <https://doi.org/10.1109/WSC.2018.8632366>
- Sujatmiko, W., Dipojono, H. K., Soelami, F. X. N., & Soegijanto. (2014). Performance-based Fire Safety Evacuation in High-rise Building Flats in Indonesia – A Case Study in Bandung. *Procedia Environmental Sciences*, 20, 116–125.

<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2014.03.016>

Sun, Q., & Turkan, Y. (2020). A BIM-based simulation framework for fire safety management and investigation of the critical factors affecting human evacuation performance. *Advanced Engineering Informatics*, 44, 101093. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101093>

Tan, L., Hu, M., & Lin, H. (2015). Agent-based simulation of building evacuation: Combining human behavior with predictable spatial accessibility in a fire emergency. *Information Sciences*, 295, 53–66. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2014.09.029>

Thornton, C., Kanski, R. O., Hardeman, B., & Swenson, D. (2011). Pathfinder: an agent-based egress simulator. *Pedestrian and Evacuation Dynamics*, 889–892. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9725-8>

Thunderhead Engineering. (2014). *Pathfinder User Manual* (pp. 1–148).

Thunderhead Engineering. (2019). *Pathfinder*. <https://www.thunderheadeng.com/pathfinder/>

Trika Pitana, & Kobayashi, E. (2008). Passengers Evacuation Simulation in a Cruise Ship due to Tsunami Attack as Port Safety Management Consideration. *Journal of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers*, 7(0), 55–64. <https://doi.org/10.2534/jjasnaoe.7.55>

Ullrich, O., & Lückerrath, D. (2017). An Introduction to Discrete-Event Modeling and Simulation. *SNE Simulation Notes Europe*, 27(1), 9–16. <https://doi.org/10.11128/sne.27.on.10362>

Vieira, A. A., Dias, L. M., Santos, M. Y., Pereira, G. A., & Oliveira, J. A. (2019). Real-time supply chain simulation: a big data-driven approach. *In 2019 Winter Simulation Conference (WSC)*, 548–559, National Harbor, Maryland. <https://doi.org/10.1109/WSC40007.2019.9004717>

White, K. P., & Ingalls, R. G. (2020). The Basics of Simulation. *In 2020 Winter Simulation Conference*, 1087–1101. <https://doi.org/10.1109/WSC48552.2020.9384079>

Zainal, Z. (2007). The Case Study as a Research Method. *Jurnal Kemanusiaan*, 5(1).

<https://doi.org/10.4135/9781473915480.n2>

Zhu, K. J., & Shi, Q. (2016). Experimental Study on Choice Behavior of Pedestrians during Building Evacuation. *Procedia Engineering*, 135, 207–216. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.01.110>

Zu, Y., & Dai, R. (2017). Distributed path planning for building evacuation guidance. *Cyber-Physical Systems*, 3(1–4), 1–21. <https://doi.org/10.1080/23335777.2017.1326983>

Żydek, K., Król, M., & Król, A. (2021). Evacuation simulation focusing on modeling of disabled people movement. *Sustainability (Switzerland)*, 13(4), 1–18. <https://doi.org/10.3390/su13042405>