



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Estudo da evacuação em caso de incêndio de edifícios que recebem público

O caso do shopping center Fórum Coimbra

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Segurança ao Incêndio Urbano

Autor

Maria do Rosário Frazão Reis

Orientador

Professor Doutor João Paulo Correia Rodrigues

Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

Coimbra, Julho, 2014

AGRADECIMENTOS

O trabalho que aqui apresento é fruto do apoio e colaboração de algumas pessoas, às quais não posso deixar de prestar o meu reconhecimento:

Ao Professor João Paulo Correia Rodrigues na orientação e acompanhamento dos trabalhos;

À Engenheira Filipa Pereira e ao Sr. Armando Santos, representantes da Multi-Mall-Management e com funções de segurança no Fórum Coimbra, pelo acolhimento do projeto.

À Thunderhead Engineering Consultants, Inc., ao National Institute of Standards and Technology e ao Technical Research Centre of Finland pela disponibilização gratuita das licenças de utilização do Pyrosim, Fire Dynamics Simulator e do aplicativo de evacuação do último, respetivamente.

Aos colaboradores do fórum de discussão do FDS+EVAC pelo auxílio em todas as questões relacionadas com o programa de simulação;

À Construções Divireis e seus colaboradores pela possibilidade de ausência nas horas de trabalho,

À Arquihome no auxílio da transposição das plantas de arquitetura do edifício para formato 3D;

Aos meus pais, irmãos e amigos pelo carinho e motivação.

(Esta página foi propositadamente deixada em branco)

RESUMO

A relevância da evacuação de edifícios em situação de incêndio para a proteção da vida humana, tem inerente, condições de emergência que são afetadas por fatores de difícil determinação que necessitam de ser definidos para o cálculo do tempo de evacuação e análise das condições de evacuação.

O objetivo deste trabalho é o levantamento dos aspetos que influenciam o tempo de evacuação em edifícios que recebem público, desde o comportamento humano às características físicas do edifício e às metodologias passíveis de adotar para a gestão da emergência, com vista a calcular o tempo necessário e disponível para a evacuação de um edifício e o tempo disponível para a evacuação através do programa de simulação FDS+EVAC.

Para tal selecionou-se o edifício comercial Fórum Coimbra e realizaram-se oito simulações, quatro sem incêndio e quatro com incêndio, em cinco cenários distintos. Pela análise dos tempos de evacuação, com os condicionalismos referidos no projeto, estimou-se o tempo necessário para a evacuação do edifício de 17 minutos e 29 segundos, que oferece uma margem de segurança de 29,30% face ao tempo disponível para a evacuação e identificaram-se os pontos críticos de evacuação e oportunidades de melhoria quer para a gestão da emergência do edifício quer para futuros projetos.

O desenvolvimento e verificação de metodologias facilitadoras da evacuação de edifícios e da segurança dos seus ocupantes constitui uma área de investigação da segurança contra incêndio com um grau de imprevisibilidade elevado mas o seu estudo continua a ser necessário, carecendo os resultados obtidos de especial cuidado no seu tratamento.

O recurso a programas de simulação de incêndio e evacuação garante a definição de tempos médios de evacuação adequados, determinados quer pelos cenários de incêndio definidos pelo utilizador quer pela resposta humana exetável definida diretamente ou pelo programa de simulação ou pelo seu utilizador.

Palavras-chave: Comportamento humano, Evacuação, FDS+EVAC, Tempo disponível, Tempo necessário, Velocidade.

ABSTRACT

In order to protect human lives, the importance of building evacuation under fire conditions has emergency conditions that are affected by factors which are hardly determined; however, they need to be defined for further calculation of evacuation time and analysis of the conditions of evacuation.

The aim of this thesis is recording the aspects that influence the time of evacuation in buildings of public access. They go from human behavior to physical characteristics of the building as well as the most likely methodologies to adopt for the emergency management. All of this is used to calculate the available and required time for evacuation of a building and the available time for evacuation through the FDS+EVAC simulation program.

Several simulations of Forum Coimbra were made in order to accomplish this goal, more precisely eight simulations, four with fire and four without fire. Considering all the conditions referred throughout the project and analyzing times of evacuation, the time needed for evacuation of the building is estimated to be 17 minutes and 29 seconds, which offers a safety margin of 29,30% relatively to the available time for evacuation. It was also possible to identify several critical points of evacuation and opportunities to improve the emergency management of the building as well as for future projects.

The development and verification of the easiest methodologies of building evacuation and the safety of the people inside are one area of investigation to safety against fire on a high degree of unpredictability but its study is still needed, with its results needing a careful treatment.

The use of fire and evacuation simulation programs guarantees an adequate definition of the average time of evacuation, determined by fire scenery customized by the user and the expected human answer defined directly by the program or its user.

Keywords: Human behavior, Evacuation, FDS+EVAC, Available time, Time required, Speed.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE QUADROS	xi
SIMBOLOGIA E SIGLAS	xv
Simbologia.....	xv
Siglas	xvi
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Motivação e objetivos da tese.....	2
1.2. Estrutura da tese.....	3
2. COMPORTAMENTO HUMANO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO E EVACUAÇÃO	5
2.1. Influência dos produtos da combustão na evacuação	6
2.1.1. Temperaturas elevadas	8
2.1.2. Fumo.....	11
2.1.3. Gases da combustão	14
2.2. Influência do perfil dos ocupantes no processo de evacuação.....	18
2.2.1. Género	18
2.2.2. Comportamento das pessoas com necessidades especiais em situação de incêndio	20
2.3. Influência do efetivo do edifício	25
2.4. Influência do comportamento humano no processo de evacuação.....	26
2.4.1. Perceção, deteção e alarme do incêndio	27
2.4.2. Comportamento não adaptativo.....	31
2.5. A influência do tempo de pré-movimento na evacuação de edifícios	33
2.6. Considerações finais	40
3. METODOLOGIAS PARA O CÁLCULO DO TEMPO DE EVACUAÇÃO.....	41
3.1. Estratégias de evacuação de edifícios	41
3.1.1. Estratégias tradicionais de evacuação.....	42
3.1.2. Novas estratégias de evacuação.....	43
3.3. Princípios gerais da evacuação de edifícios.....	55
3.4. Movimento em vias horizontais de emergência.....	56
3.5. Movimento descendente em rampas	58
3.6. Movimento em vias verticais de emergência.....	59
3.7. Pontos de transição	60
3.8. Largura das vias de evacuação.....	63
3.9. Saídas de emergência: número mínimo, distribuição, localização e proteção.....	64
3.10. Metodologias de cálculo do tempo de evacuação	66
3.10.1. Método de Pauls.....	69
3.10.2. Método de Proulx.....	70
3.10.3. Método de Nelson e Mowrer	71
3.10.4. Método de Tanaka	74
3.10.5. Modelos computacionais	76
3.11. Considerações finais.....	82

4.	DESCRICÃO DO FDS+EVAC.....	83
4.1.	Fundamentação teórica do <i>FDS+EVAC</i>	84
4.1.1.	Interação incêndio-ocupante.....	86
4.1.2.	Seleção de saídas de emergência.....	87
4.1.3.	Grupos.....	88
4.1.4.	Critérios de avaliação da evacuação.....	89
4.2.	<i>Inputs</i> do programa.....	89
4.3.	Limitações do <i>FDS+EVAC</i>	96
4.4.	Considerações finais.....	98
5.	ESTUDO DE CASO: SHOPPING CENTER FÓRUM COIMBRA.....	99
5.1.	Descrição do edifício.....	100
5.1.1.	Descrição funcional do edifício.....	101
5.1.2.	Enquadramento do estudo na regulamentação nacional.....	102
5.1.3.	Condições de evacuação do edifício.....	108
5.1.4.	Dimensionamento das saídas e dos caminhos de evacuação.....	110
5.1.5.	Caracterização das vias horizontais de evacuação.....	113
5.1.6.	Organização da segurança.....	115
5.1.7.	Equipamentos e sistemas de segurança.....	120
5.1.8.	Meios mecânicos de evacuação.....	122
5.2.	Modelação da evacuação em situação de incêndio no edifício.....	123
5.2.1.	Caraterísticas dos ocupantes.....	123
5.2.2.	Cenários de incêndio e evacuação.....	124
5.3.	Análise e discussão dos resultados.....	128
5.3.1.	Evacuação do piso 2 com incêndio em restaurante (cenário 1).....	129
5.3.2.	Evacuação do piso 1 com incêndio em loja (cenário 2).....	136
5.3.3.	Evacuação do piso 1 com incêndio em loja, com nível de conhecimento atribuído às saídas E.1.5 e E.1.7 (cenário 2.1).....	142
5.3.4.	Evacuação do piso 0 com incêndio em loja (cenário 3).....	148
5.3.5.	Evacuação do piso 0 com incêndio em hipermercado (cenário 4).....	154
5.4.	Propostas de melhoria para a modelação da evacuação do edifício.....	160
5.4.1.	Simplificação do edifício.....	160
5.4.2.	Procedimentos de segurança.....	162
5.4.3.	Procedimentos de evacuação.....	163
5.5.	Considerações finais.....	165
6.	CONCLUSÕES.....	167
6.1.	Desenvolvimento de trabalhos futuros.....	168
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	171
I.	PLANTAS DE EMERGÊNCIA DO EDIFÍCIO.....	1
II.	ESTUDO DO MÉTODO DE CÁLCULO DO EFETIVO.....	1
III.	CÁLCULO DO EFETIVO E DETERMINAÇÃO DOS LOCAIS DE RISCO DO EDIFÍCIO.....	3

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Modelo de gestão do <i>stress</i> em situação de incêndio. (Fonte: John L. Bryan, 2002).....	30
Figura 2.2 - Componentes do tempo de evacuação. (Fonte: Chow e Candy, 2008)	33
Figura 3.1 - Etapas a considerar na evacuação de edifícios. (Fonte: Ono, 2010).....	41
Figura 3.2 - Dispositivos móveis de evacuação. (Fonte: Bukowski, 2005)	45
Figura 3.3 - Dispositivos móveis de evacuação. (Fonte: Shimshoni,2005)	54
Figura 3.4 - Sequência do processo de evacuação em situação de incêndio. (Fonte: Proulx, 2002).....	67
Figura 4.1 - Vista superior do indivíduo. (Fonte: Korhonen e Hostikka, 2009)	85
Figura 4.2 - Interface gráfica de arquivos de entrada do FDS+EVAC com o FDS+EVAC e a janela de visualização do Pyrosim, respetivamente. (Fonte: Pyrosim, 2014)	92
Figura 5.1 - Testemunho dos funcionários a utilizar em caso de evacuação do FC.....	104
Figura 5.2 - Saída de emergência de uma loja âncora e duas do hipermercado do FC.	106
Figura 5.3 - Instante t=0 na simulação de evacuação do FC. (Fonte: Pyrosim, 2014).....	109
Figura 5.4 - Saída de emergência do FC não considerada no estudo.	111
Figura 5.5 - Saída de emergência exterior e pontos de reunião 01 (entrada norte do edifício) e 02 (no estacionamento descoberto) do FC.	112
Figura 5.6 - Elementos exteriores não considerados para o cálculo do tempo de evacuação do FC.	112
Figura 5.7 - Pontos de encontro do FC. (Fonte: Plano de Segurança Interno do FC, 2012)	114
Figura 5.8 - Distribuição dos ocupantes do FC pelos pontos de encontro em função da sua localização. (Fonte: Plano de Segurança Interno do FC, 2012)	114
Figura 5.9 - Organização da gestão da emergência no FC. (Fonte: Plano de Segurança Interno do FC, 2012)	115
Figura 5.10 - Matriz de evacuação do FC. (Fonte: Plano de Segurança Interno do FC, 2012).....	120
Figura 5.11 - Iluminação de emergência do FC.	120
Figura 5.12 - Equipamentos de combate a incêndios no FC.	121
Figura 5.13 - Incêndio no piso 2 aos 450 segundos, cenário 1. (Fonte: Pyrosim, 2014)...	123
Figura 5.14 - Detetores de incêndio da loja do cenário 3.	124
Figura 5.15 - Número de pessoas evacuadas sem incêndio nas 6 simulações efetuadas e média do tempo de evacuação, cenário 0	127
Figura 5.16 - Evolução do número de pessoas evacuadas no piso 2 em situação de incêndio e de não incêndio.....	130

Figura 5.17 - Velocidade inicial dos ocupantes no piso 2.	131
Figura 5.18 - Dose efetiva fracionária (FED) em situação de incêndio no piso 2.....	132
Figura 5.19 - Condições de visibilidade no piso 2 ao fim de 950,0 segundos. (Fonte: Pyrosim, 2014)	132
Figura 5.20 - Evolução da temperatura no ambiente no piso 2.	132
Figura 5.21 - Utilização das saídas do piso 2 com e sem incêndio, cenários 1 e 0 respectivamente.....	133
Figura 5.22 - Fluxo de evacuação por saída do piso 2 com incêndio.....	134
Figura 5.23 - Imagem da simulação de evacuação com incêndio do piso 2 aos 52,5 segundos, cenário 1. (Fonte: Pyrosim, 2014)	135
Figura 5.24 - Imagem da simulação de evacuação com incêndio do piso 2 aos 252,5 segundos, cenário 1. (Fonte: Pyrosim, 2014)	135
Figura 5.25 - Imagem da simulação de evacuação com incêndio do piso 2 aos 352,5 segundos, cenário 1. (Fonte: Pyrosim, 2014)	135
Figura 5.26 - Imagem da simulação de evacuação com incêndio do piso 2 aos 532,5 segundos, cenário 1. (Fonte: Pyrosim, 2014)	135
Figura 5.27 - Evolução do número de pessoas evacuadas no piso 1 em situação de incêndio e de não incêndio, cenário 2.	136
Figura 5.28 - Velocidade inicial dos ocupantes no piso 1, cenário 2.	137
Figura 5.29 - Condições de visibilidade no piso 1 ao fim de 1050,1 segundos, cenário 2. (Fonte: Pyrosim, 2014).....	138
Figura 5.30 - Evolução da temperatura no ambiente no piso 1, cenário 2.	139
Figura 5.31 - Utilização das saídas do piso 1 com e sem incêndio, cenário 2.....	139
Figura 5.32 - Fluxo de evacuação por saída do piso 1 com incêndio, cenário 2.	140
Figura 5.33 - Imagem da simulação de evacuação com incêndio do piso 1 aos 246 segundos, cenário 2. (Fonte: Pyrosim, 2014)	141
Figura 5.34 - Imagem da simulação de evacuação com incêndio do piso 1 aos 260,5 segundos, cenário 2. (Fonte: Pyrosim, 2014)	141
Figura 5.35 - Imagem da simulação de evacuação com incêndio do piso 1 aos 456 segundos, cenário 2. (Fonte: Pyrosim, 2014)	141
Figura 5.36 - Evolução do número de pessoas evacuadas no piso 1 no cenário de incêndio com e sem índice de conhecimento das saídas E.1.5 e E.1.7, cenário 2.1.	143
Figura 5.37 - Velocidade inicial dos ocupantes no piso 1, com incêndio e com e sem conhecimento das saídas de evacuação, cenário 2.1.	144
Figura 5.38 - Utilização das saídas do piso 1 com e sem incêndio, com incêndio e com e sem conhecimento das saídas de evacuação, cenário 2.1.....	145
Figura 5.39 - Fluxo de evacuação por saída do piso 1 com incêndio e índice de conhecimento atribuído às saídas de evacuação E.1.5 e E.1.7, cenário 2.1.	146

Figura 5.40 - Imagem da simulação de evacuação com incêndio do piso 1 aos 246 segundos, cenário 2.1. (Fonte: Pyrosim, 2014)	147
Figura 5.41 - Imagem da simulação de evacuação com incêndio do piso 1 aos 260,2 segundos, cenário 2.1. (Fonte: Pyrosim, 2014)	147
Figura 5.42 - Imagem da simulação de evacuação com incêndio do piso 1 aos 290,2 segundos, cenário 2.1. (Fonte: Pyrosim, 2014)	147
Figura 5.43 - Evolução do número de pessoas evacuadas no piso 0 com e sem incêndio na loja, cenários 3.....	148
Figura 5.44 - Velocidade inicial dos ocupantes no piso 0 na loja, cenário 3.	149
Figura 5.45 - Dose efetiva fracionária em situação de incêndio no piso 0 na loja, cenário 3.	150
Figura 5.46 - Condições de visibilidade no piso 0 na loja ao fim de 770,7 segundos, cenário 3. (Fonte: Pyrosim, 2014).....	150
Figura 5.47 - Evolução da temperatura no ambiente no piso 0 na loja, cenário 3.....	151
Figura 5.48 - Utilização das saídas do piso 0 com e sem incêndio na loja, cenário 3.....	151
Figura 5.49 - Fluxo de evacuação por saída do piso 0 com incêndio na loja, cenário 3. ...	152
Figura 5.50 - Imagem da simulação de evacuação com incêndio do piso 0 na loja aos 245,5 segundos, cenário 3. (Fonte: Pyrosim, 2014)	153
Figura 5.51 - Imagem da simulação de evacuação com incêndio do piso 0 na loja aos 275,5 segundos, cenário 3. (Fonte: Pyrosim, 2014)	153
Figura 5.52 - Imagem da simulação de evacuação com incêndio do piso 0 na loja aos 515,5 segundos, cenário 3. (Fonte: Pyrosim, 2014)	154
Figura 5.53 - Evolução do número de pessoas evacuadas no piso 0 com e sem incêndio no hipermercado, cenários 4.....	155
Figura 5.54 - Velocidade inicial dos ocupantes no piso 0 no hipermercado, cenário 4. ...	156
Figura 5.55 - Dose efetiva fracionária em situação de incêndio no piso 0 no hipermercado, cenário 3.	156
Figura 5.56 - Condições de visibilidade no piso 0 no hipermercado ao fim de 900,1 segundos, cenário 4. (Fonte: Pyrosim, 2014)	157
Figura 5.57 - Evolução da temperatura no ambiente no piso 0 no hipermercado, cenário 4.	157
Figura 5.58 - Utilização das saídas do piso 0 com e sem incêndio no hipermercado, cenário 4.....	158
Figura 5.59 - Fluxo de evacuação por saída do piso 0 com incêndio no hipermercado, cenário 4.	158
Figura 5.60 - Imagem da simulação de evacuação com incêndio do piso 0 no hipermercado aos 245,5 segundos, cenário 4. (Fonte: Pyrosim, 2014).....	159
Figura 5.61 - Imagem da simulação de evacuação com incêndio do piso 0 no hipermercado aos 235,5 segundos, cenário 4. (Fonte: Pyrosim, 2014).....	159

Figura 5.62 - Imagem da simulação de evacuação com incêndio do piso 0 no hipermercado aos 885,5 segundos, cenário 4. (Fonte: Pyrosim, 2014).....	159
Figura 5.63 - Perigos nos caminhos de evacuação do FC não considerados na simulação.	160
Figura 5.64 - Mostruários do FC não considerados na simulação de evacuação nos cenários 1 a 4.	161
Figura I.1 - Legenda do plano de emergência interno do FC.	1
Figura I.2 - Planta de emergência do piso 0 do FC, cenário 3.....	3
Figura I.3 - Planta de emergência do piso 0 do FC, cenário 4.....	5
Figura I.4 - Planta de emergência do piso 1 do FC, cenário 2.....	7
Figura I.5 - Planta de emergência do piso 1 do FC, cenário 2.1.....	9
Figura I.6 - Planta de emergência do piso 2 do FC, cenário 1.....	11

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Efeito do fumo e gases tóxicos nos ocupantes.	7
Quadro 2.2 - Limite de exposição a temperaturas elevadas. (Fonte: Elneil, 1968).....	11
Quadro 2.3 - Critérios de densidade e visibilidade de fumo com influência na evacuação. (Fonte: Jin, 2002)	12
Quadro 2.4 - Concentrações irritantes e letais de gases tóxicos e asfixiantes. (Fonte: Purser, 2002).....	15
Quadro 2.5 - Classificação da toxicidade do ambiente de incêndio e dos tempos de incapacitação e evacuação. (Fonte: Purser, 2000).....	16
Quadro 2.6 - Primeiras ações desenvolvidas em situação de incêndio, segundo o género, nos EUA. (Fonte: Bryan, 2002).....	19
Quadro 2.7 - Envolvimento das pessoas com deficiência na sociedade. (Fonte: Boyce <i>et al.</i> , 1999).....	22
Quadro 2.8 - Velocidade de deslocamento em vias horizontais. (Fontes: Boyce <i>et al.</i> , 1999 e Ono, 2010).....	23
Quadro 2.9 - Velocidade de deslocamento ascendente e descendente em vias verticais. (Fontes: Boyce <i>et al.</i> , 1999)	23
Quadro 2.10 - Velocidade de deslocamento ascendente e descendente em rampas.(Fontes: Boyce <i>et al.</i> , 1999)	24
Quadro 2.11 - Tempo de pré-movimento para iniciar a evacuação, em minutos, de acordo com a BS DD240 (1997). (Fonte: Proulx, 2002)	39
Quadro 2.12 - Resumo dos tempos de pré-movimento da revisão bibliográfica para edifícios comerciais com sistemas de deteção e alarme e de gestão da segurança adequados. (Fonte: Horasann e Kilmartin, 2012).....	39
Quadro 3.1 - Expressões matemáticas de diferentes autores para a velocidade de deslocamento de pessoas em vias horizontais de emergência. (Fonte: Ono, 2010)	57
Quadro 3.2 - Velocidade e fluxo específico máximo em corredores, rampas, portas e escadas. (Fonte: Nelson e Mowner, 2002 <i>cf.</i> Ono, 2010)	58
Quadro 3.3 - Expressões matemáticas de diferentes autores para a velocidade de deslocamento em vias verticais de emergência em movimento descendente. (Fonte: Ono, 2010)	60
Quadro 3.4 - Distância mínima a considerar na largura efetiva em relação ao caminho de evacuação. (Fonte: Nelson e Mowrer, 2002)	63
Quadro 3.5 - Parâmetros para o movimento de pessoas em diversas situações. (Fonte: Proulx, 2002).....	70
Quadro 3.6 - Valores do fator k e do fator de conversão em função das dimensões dos degraus. (Fonte: Nelson e Mowrer, 2002).....	71

Quadro 3.7 - Fatores a considerar na seleção do modelo de evacuação. (Fonte: Kuligowski, 2003).....	78
Quadro 4.1 - Dimensões do corpo e velocidades de deslocamento livre adotadas, por defeito, pelo FDS+EVAC. (Fonte: Korhonen e Hostikka, 2009)	85
Quadro 4.2 - Algoritmo de seleção de saída. (Fonte: Korhonen e Hostikka, 2009).....	88
Quadro 4.3 - Funcionalidades do FDS+EVAC.	90
Quadro 4.4 - Principais parâmetros da <i>namelist</i> MESH.....	93
Quadro 4.5 - Principais parâmetros das <i>namelists</i> OBST, HOLE e VENTS.....	93
Quadro 4.6 - Design de incêndio em função do tipo de ocupação.....	95
Quadro 4.7 - Taxa de crescimento de incêndio por unidade de área em superfícies comerciais.....	96
Quadro 5.1 - Identificação da categoria de risco de cada utilização-tipo existente na instalação, de acordo com o plano de segurança interno de 31 de Outubro de 2012.	102
Quadro 5.2 - Caracterização do edifício e da sua inclusão no estudo.....	103
Quadro 5.3 - Classificação da natureza do risco dos locais do edifício.....	105
Quadro 5.4 - Isolamento e proteção de locais de risco.....	107
Quadro 5.5 - Isolamento e proteção de local de risco C, vias verticais e elevadores.....	107
Quadro 5.6 - Efetivo do edifício.....	110
Quadro 5.7 - Número mínimo de saídas de locais cobertos em função do efetivo.....	110
Quadro 5.8 - Número mínimo de UP em espaços cobertos.....	111
Quadro 5.9 - Número de saídas e largura dos caminhos de evacuação no edifício.....	113
Quadro 5.10 - <i>Input</i> das características dos ocupantes na simulação.....	124
Quadro 5.11 - Descrição dos cenários de incêndio.....	125
Quadro 5.12 - Dimensões dos cenários de incêndio (malhas).....	126
Quadro 5.13 - Estudo da variação do tempo de evacuação total do edifício das simulações de evacuação sem incêndio.....	127
Quadro 5.14 - Cálculos de incêndio dos cenários.....	128
Quadro 5.15 - Parâmetros para a análise da evacuação do edifício.....	128
Quadro 5.16 - Diferentes momentos do tempo de evacuação no piso 2 com e sem incêndio.....	130
Quadro 5.17 - Velocidade inicial dos ocupantes e variação da velocidade na evacuação no piso 2.....	131
Quadro 5.18 - Utilização das saídas de emergência do piso 2, com e sem incêndio.....	133
Quadro 5.19 - Fluxo de evacuação no piso 2.....	134

Quadro 5.20 - Diferentes momentos do tempo de evacuação no piso 1 com e sem incêndio, cenário 2.	137
Quadro 5.21 - Velocidade inicial dos ocupantes e variação da velocidade na evacuação no piso 1, cenário 2.....	138
Quadro 5.22 - Utilização das saídas de emergência do piso 1, com e sem incêndio, cenário 2.....	140
Quadro 5.23 - Fluxo de evacuação no piso 1, cenário 2.....	140
Quadro 5.24 - Diferentes momentos do tempo de evacuação no piso 1 com incêndio e com e sem conhecimento das saídas de evacuação, cenário 2.1.....	144
Quadro 5.25 - Velocidade inicial dos ocupantes e variação da velocidade na evacuação no piso 1, com incêndio e com e sem conhecimento das saídas de evacuação, cenário 2.1.....	145
Quadro 5.26 - Utilização das saídas de emergência do piso 1, com incêndio e com e sem conhecimento das saídas de evacuação, cenário 2.1.....	145
Quadro 5.27 - Fluxo de evacuação no piso 1, cenário 2.1.....	146
Quadro 5.28 - Diferentes momentos do tempo de evacuação no piso 0 com e sem incêndio em loja, cenário 3.....	149
Quadro 5.29 - Velocidade inicial dos ocupantes e variação da velocidade na evacuação no piso 0 na loja, cenário 3.....	150
Quadro 5.30 - Utilização das saídas de emergência do piso 0 com e sem incêndio na loja, cenário 3.....	152
Quadro 5.31 - Fluxo de evacuação no piso 0 na loja, cenário 3.....	152
Quadro 5.32 - Diferentes momentos do tempo de evacuação no piso 0 com e sem incêndio em loja, cenário 3.....	155
Quadro 5.33 - Velocidade inicial dos ocupantes e variação da velocidade na evacuação no piso 0 na loja, cenário 3.....	156
Quadro 5.34 - Utilização das saídas de emergência do piso 0 com e sem incêndio no hipermercado, cenário 4.....	158
Quadro 5.35 - Fluxo de evacuação no piso 0 no hipermercado, cenário 4.....	159
Quadro 5.36 - Número de pessoas impedidas de circulação pela geometria do edifício. .	162
Quadro 5.37 - Tempo necessário à evacuação total, por cenário de incêndio.....	165
Quadro II.1 - Metodologia de cálculo do efetivo	1
Quadro III.1 - Cálculo do efetivo e classificação dos locais de risco do edifício	7

(Esta página foi propositadamente deixada em branco)

SIMBOLOGIA E SIGLAS

Simbologia

ASET – tempo disponível para a evacuação

AT – área técnica

CDI – central de detecção de incêndio

CFD – *computational fluid dynamics*

CS – central de segurança

DS – delegado de segurança

ER – tempo de espera cumulativa

F_T – fluxo total

F_{c,in} – fluxo calculado antes da transição

F_{c,out} – fluxo calculado que deixa da rota após a transição

F_{e,max} – fluxo específico máximo

F_e – fluxo específico

PEI – plano de emergência interno

RS – responsável de segurança

RSET – tempo admissível para a evacuação

TET – tempo de evacuação total

TR – tempo de resposta

UP – unidades de passagem

VHE – via horizontal de evacuação

VVE – via vertical de evacuação

WTI – índice de tempo de espera

cf. – conforme

Siglas

ASCII - *American Standard Code for Information Interchange*

CAD – *Computer Aided Design*

EVAC – *aplicativo de evacuação do modelo de simulação Fire Dynamics Simulator*

FC – Fórum Coimbra

FDS – *Fire Dynamics Simulator*

FDS+EVAC – *Fire Dynamics Simulator and Evacuation*

FED - dose efetiva fracionária.

IAFSS - *International Association for Fire Safety Science*

ICC - *International Code Council*

IESNA - *Illuminating Engineering Society of North America*

JAFSE - *Japan Association for Fire Science and Engineering*

MMM – *Multi Mall Management*

NFPA - *National Fire Protection Association (EUA)*

NIST – *National Institute of Standards and Technology (EUA)*

NRC - *National Research Council (Canadá)*

RT-SCIE – Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios

SFPE-*Society of Fire Protection Engineers (EUA)*

VTT - *Technical Research Centre of Finland*

WTC – World Trade Center

1. INTRODUÇÃO

A defesa da integridade humana constitui a principal preocupação da sobrevivência dos cidadãos. O risco de incêndio está presente em todas as ações humanas e, conseqüentemente o estudo e o desenvolvimento de metodologias que visem a preservação da segurança humana tem assumido grande relevância.

A segurança ao incêndio desenvolve-se em torno de quatro princípios fundamentais de proteção da vida humana, ambiente e proteção cultural: redução da probabilidade de ocorrência de incêndios, limitação do desenvolvimento de eventuais incêndios circunscrevendo e minimizando os seus efeitos nomeadamente de propagação do fumo e gases de combustão, facilitar a evacuação e o salvamento dos ocupantes em risco e permitir a intervenção eficaz e segura dos meios de socorro.

Um edifício seguro é aquele em que a probabilidade de se iniciar um incêndio é baixa e para a qual, em situação de incêndio é elevada a probabilidade de todos os seus ocupantes sobreviverem. A tese que se pretende desenvolver foca-se, essencialmente, no terceiro item, estudando as estratégias de evacuação de vias de evacuação vertical e horizontal em edifícios que também podem ser utilizados pelos meios de socorro, com vista a incrementar todo o processo de evacuação num edifício e os fatores humanos e materiais que interferem na evacuação dos ocupantes.

A atividade em edifícios que recebem público é diversa e complexa, variando com a tipologia do edifício, suas atividades e ocupante. Contudo a garantia da segurança da população é um requisito essencial em qualquer espaço que recebe público e ganhou especial relevância desde o 11 de Setembro de 2001 quando se demonstrou que a evacuação de edifícios com elevado efetivo é influenciada por várias características, quer dos ocupantes, comportamento humano, quer do edifício.

Apesar de o atual paradigma socioeconómico não ser favorável à construção de grandes edifícios, há uma tendência para a construção de edifícios com elevado efetivo porque com o desenvolvimento das cidades, o espaço urbano tem de ser otimizado, principalmente nas cidades, o planeamento da evacuação na fase de projeto assume especial relevância para a garantia das condições de segurança do edifício durante a sua utilização.

O desenvolvimento da engenharia de incêndio é limitado pela dificuldade de realização de exercícios reais para obtenção de dados passíveis de validar os modelos computacionais e tradicionais, apesar de, ao longo dos anos, nomeadamente na área da evacuação, se apostar na realização de exercícios reais de evacuação em diversas tipologias de edifícios.

O conhecimento dos fatores que mais influenciam o comportamento humano em situação de emergência carece de aprofundamento, validando-se pressupostos a integrar em modelos de evacuação, para que o cálculo dos tempos de evacuação de edifícios seja o mais próximo da realidade possível. Somente com estes conhecimentos de base é possível definir cenários de simulação de incêndio e avaliar os tempos de evacuação e movimentação de pessoas.

Nos últimos 20 anos, a utilização de modelos computacionais para a previsão do tempo de evacuação, do comportamento humano e do desenvolvimento e propagação de incêndios em edifícios assumiu relevância, tanto para avaliar edifícios existentes como para analisar incêndios decorridos nos edifícios ou analisar a viabilidade das condições de segurança de projetos de edifícios, com especial enfoque para os de maior complexidade.

Com efeito, o presente estudo pretende realizar uma revisão bibliográfica aos trabalhos apresentados até ao momento e através dos dados recolhidos realizar oito simulações computacionais aplicadas a um edifício comercial que acolhe diariamente um número de pessoas muito significativo, situado na cidade de Coimbra (Portugal). Definiram-se diferentes cenários e parâmetros de incêndio e evacuação relativos ao comportamento humano em situação de incêndio.

1.1. Motivação e objetivos da tese

A utilização de edifícios multifuncionais e com elevados efetivos é uma tendência mundial e a possibilidade de fomentar a necessidade de validação da relação entre o tempo disponível para a evacuação e o tempo necessário para a evacuação para a otimização do último constituiu a principal fonte de motivação para a concretização do projeto.

O regulamento jurídico de segurança contra incêndios em edifícios assim como várias orientações internacionais preveem a realização, com frequência definida, de exercícios de treino.

A validação das exigências regulamentares pode ser realizada com recurso à medição dos tempos de evacuação em exercícios de treino complementada pela verificação em programas de simulação de incêndio. Outro ponto de interesse foi a possibilidade de demonstrar que, através de programas de simulação, é possível, verificar a adequabilidade dos caminhos de evacuação definidos nos planos de emergência antes da utilização do edifício e durante.

O planeamento e gestão do risco de incêndio em edifícios que recebem público carece de um entendimento global que integre quer as exigências das condições de incêndio quer os requisitos relativos ao comportamento humano.

O projeto pretende ser um contributo quer para o levantamento e integração das exigências necessárias para a diminuição do risco de incêndio em edifícios que recebem público quer para a definição de critérios de avaliação do comportamento humano em cenário de incêndio.

Com efeito, o principal objetivo do projeto é a determinação do tempo de evacuação do edifício Fórum Coimbra (FC) e a verificação da adequabilidade da metodologia de evacuação adotada pelo FC.

1.2. Estrutura da tese

A tese divide-se em cinco capítulos distintos com âmbitos de estudos inter-relacionados mas distintos.

O capítulo 2 descreve a influência do comportamento humano na evacuação com base no levantamento do estado da arte. Quer quanto à influência dos produtos da combustão na evacuação nomeadamente de temperaturas elevadas, fumo e gases de combustão, quer quanto à influência do perfil dos ocupantes intervenientes no processo de evacuação, das características do efetivo do edifício e quanto à influência do comportamento humano para a determinação dos tempos de pré-movimento e movimento.

O capítulo 3 apresenta as metodologias para o cálculo de evacuação de edifícios: estratégias de evacuação e métodos de cálculo do tempo de evacuação para vias verticais e horizontais de evacuação e nos pontos de transição, com base nos princípios gerais de evacuação de edifícios. Este capítulo descreve as estratégias de evacuação passíveis de serem implementadas em edifícios como a evacuação simultânea, faseada ou combinada e a integração desses métodos em estratégias mais modernas, como a utilização de elevadores destinados à evacuação e de outros meios mecânicos.

O capítulo 4 enquadra o programa de simulação de incêndio e evacuação FDS+EVAC ao qual se recorreu para o cálculo do tempo de evacuação descrevendo-o sumariamente quanto às suas características de evacuação e incêndio e limitações.

O capítulo 5 apresenta e descreve o estudo de caso da evacuação do edifício. Descrevendo-se o edifício quanto às exigências regulamentares como às necessidades para a evacuação. Define-se ainda os cenários de incêndio e evacuação a estudar e apresentam-se os resultados. Como forma de melhorar possíveis projetos, apresentam-se ainda no capítulo 5 as limitações do projeto e propostas de melhoria para futuros trabalhos com o FDS+EVAC.

O edifício selecionado foi o Fórum Coimbra, edifício comercial com diversas tipologias de serviços comerciais, desde hipermercados, a lojas de vestuário e outras a retalho e restauração. A seleção do edifício tem inerente a sua funcionalidade e disponibilidade dos seus responsáveis para o estudo.

Por fim, apresentam-se as conclusões do projeto, compostas pelos resultados obtidos durante as simulações e pela sua relação com o levantamento do estado da arte e de propostas para desenvolvimento de futuros projetos no âmbito da evacuação de edifícios que recebem público.

2. COMPORTAMENTO HUMANO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO E EVACUAÇÃO

O estudo do comportamento humano em situação de incêndio é uma área da segurança ao incêndio que, segundo Canter (1980), também tem de ser estudada, porque a garantia das condições de segurança das estruturas físicas expostas ao fogo não impede o acontecimento de acidentes durante o processo de evacuação e consequentes danos humanos e materiais.

A maioria dos estudos do comportamento humano é reativa: recorrem à análise de incêndios através do estudo do comportamento das pessoas aquando o incêndio, aplicando questionários e entrevistas a sobreviventes e também pela investigação de incêndio. O estudo experimental da reação e do efeito do fumo sob as pessoas, a análise dos sistemas de sinalização e iluminação em ambientes com visibilidade reduzida não tem, também, sido alvo, de uma investigação proactiva.

Bryan (2002) refere que o estudo na área do comportamento humano em situações de incêndio iniciou-se no pós-segunda guerra mundial na Alemanha e nos EUA, em 1945. Contudo apenas após vinte anos se começou a estudar com maior rigor em países como a Austrália, Canadá, Reino Unido, Japão, Nova Zelândia, Noruega e Suécia.

Outro marco histórico na investigação do processo de evacuação é o atentado terrorista ao World Trade Center (WTC) a 11 de Setembro de 2001, voltando a definição de evacuação e seus processos associados a ganhar importância com a criação do grupo de pesquisa dedicado à evacuação no NIST (*National Institute of Standards and Technology* - EUA).

O comportamento humano em situação de incêndio é, ainda, focado no congresso internacional *Human Behaviour in Fire Symposium* (que reúne desde 2002, bianualmente), onde se encontram pesquisadores do NRC (*National Research Council* - Canadá), da NFPA (*National Fire Protection Association* - EUA) e outros pesquisadores do comportamento humano em situação de incêndio, de todas as partes do mundo.

A análise e aplicação dos resultados de estudos do comportamento humano carecem de prudência, face à constante mudança das realidades cultural, social, temporal e espacial.

2.1. Influência dos produtos da combustão na evacuação

Os meios de prevenção e proteção de incêndios visam a diminuição da probabilidade e severidade do incêndio e consequentemente asseguraram a evacuação segura dos ocupantes do edifício. Para o conhecimento das condições mínimas de sobrevivência humana é imperativo o conhecimento dos produtos resultantes da combustão: temperatura elevada, fumo e gases da combustão.

Purser (2002) refere que desde 1970 que nos EUA e no Reino Unido se estuda a influência dos gases tóxicos e do fumo no comportamento humano em situação de incêndio, nomeadamente em habitações familiares. Concluindo-se que grande parte das vítimas de incêndio, mortais e não mortais, demonstrou maiores dificuldades (ou a causa da morte está a isso associada) no contato com gases tóxicos e fumos do que com queimaduras.

Desde 1990 que se verifica um aumento significativo das perturbações derivadas do efeito dos gases tóxicos e do fumo. Segundo o mesmo autor, tal poderá dever-se ao aumento da utilização de material sintético nos edifícios, nomeadamente em mobiliário e outras peças decorativas. A diversidade de componentes tóxicos introduzidos no conteúdo dos edifícios dificulta o controlo do fumo e dos gases tóxicos produzidos e consequentemente do risco químico a eles associados.

A quantidade e toxicidade do fumo e dos gases tóxicos produzidos num incêndio depende essencialmente da natureza e disposição do combustível, da fonte de ignição, da reação ao fogo do conteúdo do edifício, das propriedades dos materiais de revestimento de paredes, pisos e outros elementos e da altura e ventilação do compartimento de incêndio.

O comportamento humano na presença de fumo e gases tóxicos depende, essencialmente, do tipo de processo de evacuação adotado e da geometria do edifício, da familiaridade do ocupante com o edifício, das características próprias do ocupante (perfil fisiológico e psicológico), da influência de outros ocupantes e do nível de exposição ao fogo do ocupante.

No Reino Unido o estudo do efeito do fumo e dos gases tóxicos é realizado através do estudo de incêndios reais ou por meio de pequenas simulações de incêndio (em materiais e/ou com animais, principalmente primatas), calculando quantidades de fumo e gases tóxicos produzidos, de forma a estimar o tempo e concentração admissível de exposição ao fumo e gases tóxicos.

Purser (2002) definiu que o efeito dos produtos de combustão nos ocupantes centra-se em três fases distintas, em que, em cada uma delas diferentes fatores influenciam o comportamento humano. O conhecimento destes fatores permite a implementação de diferentes medidas de controlo:

1. **Crescimento do incêndio sem afetação do ocupante por temperaturas elevadas, fumo e/ou gases tóxicos** – esta fase decorre desde a deteção ao alerta e depende de como o ocupante é alertado e como reage ao alarme: se inicia de imediato a evacuação, se realiza a primeira intervenção, se espera por um amigo, entre outros;
2. **Exposição da vítima ao incêndio** – os aspetos fisiológicos (principalmente das vias respiratórias e olhos) afetam a capacidade de movimento e raciocínio dos ocupantes: depende da toxicidade dos produtos combustíveis e da dinâmica do incêndio e,
3. **Morte** – causada pelo efeito da toxicidade dos materiais combustíveis ou por queimaduras.

Os efeitos fisiológicos e psicológicos da exposição ao fumo e gases tóxicos resultam em diferentes graus de incapacitação podendo levar a lesão permanente ou morte. No Quadro 2.1 apresentam-se sucintamente os efeitos do fumo e gases tóxicos no comportamento humano.

Quadro 2.1 – Efeito do fumo e gases tóxicos nos ocupantes.

Efeito fisiológico	Causa	Sintoma/Dano
Diminuição da visão	Opacidade ótica do fumo	Irritação dos olhos Desorientação no espaço
Afetação do sistema respiratório e inflamação pulmonar	Inalação de fumo e gases tóxicos	Asfíxia Danos no trato superior Confusão Perda de consciência
Afetação da pele exposta ao incêndio	Exposição a temperaturas elevadas	Queimaduras Hipertermia

Neste contexto importa analisar o grau de exposição aceitável do ocupante aos efeitos dos gases tóxicos e do fumo que ocorre quando se atinge um nível de incapacidade tal que influencia a evacuação dos ocupantes. Atualmente estão disponíveis vários parâmetros sobre as condições limite de exposição ao incêndio em função do tempo e concentração dos produtos da combustão especialmente para os gases com maior potencial de risco tóxico. Identificados com a realização de diversas simulações em animais e com diferentes materiais: o monóxido de carbono, ácido clorídrico e o ácido cianídrico são os gases asfixiantes predominantes.

2.1.1. Temperaturas elevadas

A exposição a temperaturas elevadas pode incapacitar ou mesmo levar à morte dos ocupantes provocando queimaduras à superfície do corpo ou no seu interior, nas vias respiratórias e de circulação sanguínea (insolação).

Segundo Simms e Hinkley (1963) os fatores que influenciam a extensão dos danos nos ocupantes são diversos: as características fisiológicas dos indivíduos, o seu vestuário, o ambiente envolvente (humidade do ar), o tipo de radiação incidente e a duração da exposição. Os autores definiram temperaturas e tempos de exposição limites para diferentes ambientes, com base em ensaios experimentais.

A hipertermia simples envolve a exposição prolongada (15 minutos ou mais) em ambientes aquecidos mas a temperaturas ambiente baixas, capazes de causar queimaduras. Sob tais condições, quando a temperatura do ar é menor que 120°C para ar seco ou 80°C para o ar saturado, o principal efeito é um aumento gradual da temperatura do corpo: de aproximadamente 37°C para 39°C que é idêntica às condições aceitáveis de temperatura do organismo humano durante a prática de desporto. Contudo quando a barreira dos 40°C é ultrapassada, aumenta o risco de dano e ultrapassando os 42,5°C o risco de irreversibilidade dos danos aumenta, podendo, inclusive, provocar a morte, se a situação não for corrigida em minutos.

Os tempos de tolerância para um indivíduo em repouso sem vestuário e em condições de movimento do ar baixa (30m/minutos): as temperaturas inferiores a 120°C a tolerância do indivíduo é limitada por sinais de hipertermia, enquanto acima desta temperatura começam a vigorar sinais de dor, seguida de queimaduras, que se vão tornando cada vez mais graves.

Em indivíduos vestidos, para temperaturas abaixo dos 120°C a produção e evaporação do suor pela pele é um fenómeno importante (permite a diminuição da temperatura da pele). Para temperaturas superiores a 120°C a proteção por vestuário torna-se cada vez mais importante (o impedimento das perdas de temperatura por evaporação deixa de ser um fenómeno importante).

Buettner (1951) afirma que a sensação de dor na pele ocorre na epiderme, a uma profundidade de 0,1mm, aos 44,8°C seguida de queimaduras, podendo causar ferimentos graves ou a morte, dependendo essencialmente do fluxo de energia à qual a pele é exposta.

A forma de transmissão de energia do ambiente para a pele (condução, convecção ou radiação) não interfere nos danos para a pele, contudo a evolução dos danos difere com a forma de transmissão de energia. Como expectável a relação entre tempo de exposição e dano para o ser humano é exponencial.

Ensaio realizados com porcos por Moritz *et al.* (1947) permitiram concluir que os danos decorrentes da exposição a temperaturas elevadas são causados principalmente pelo colapso circulatório associado a alterações cardíacas (taquicardia ventricular). Aquando da exposição a temperaturas elevadas durante curtos períodos (inferiores a 15 minutos e expostos a temperaturas inferiores a 120°C) a hipertermia é acompanhada por queimaduras cutâneas.

A perda de consciência ou a morte pode ocorrer durante a exposição a temperaturas elevadas superior a 30 minutos consequência do aumento da temperatura do sangue. No caso experimental, quando a temperatura do coração do animal atingiu 42,5°C, o animal morreu em poucos minutos por ataque cardíaco ou pouco tempo após a exposição por queimaduras do trato respiratório superior, particularmente da laringe, ou derivado dos efeitos secundários das queimaduras na pele. Mortitz *et al.* concluíram ainda que o choque térmico (hipertermia) também pode ocorrer aquando da exposição prolongada a temperaturas inferiores a 120°C, especialmente quando a humidade do ar é elevada e que os choques fisiológicos podem ser acompanhados de choques psicológicos.

A recuperação à exposição prolongada a temperaturas elevadas depende de vários fatores: a localização e extensão da queimadura, a sua profundidade, a idade da vítima e/ou o tratamento médico recebido. Queimaduras superiores a 80% da superfície corporal, dificilmente têm recuperação e as hipóteses de sobrevivência são mínimas e queimaduras da superfície corporal a partir de 35% as possibilidades continuam baixas. A recuperação nos jovens normalmente é facilitada (possibilidade de 50% de recuperação por cada 50% de área corporal por queimar) enquanto as crianças e os idosos são mais vulneráveis (possibilidade de 50% de sobrevivência por cada 20% de área corporal a queimar).

A profundidade da queimadura é classificada numa escala de três graus: queimaduras de primeiro grau implicam uma recuperação de dois a cinco dias com possível descamação da pele mas normalmente sem sequelas. As de segundo a recuperação poderá demorar até três semanas implicando a regeneração dos tecidos e despigmentação de cicatrizes hipertróficas, podendo existir a necessidade de enxerto. E as queimaduras de terceiro grau envolvem danos para a pele dificilmente recuperáveis sem desbridamento e enxerto e é possível a retração e perda da forma e função da pele e das extremidades do dedo, mão ou pé. A sobrevivência ao período inicial de choque não implica, necessariamente, a sobrevivência à exposição a temperaturas elevadas: o perigo de morte está presente até várias semanas após a exposição, derivado dos efeitos secundários da exposição a temperaturas elevadas no cérebro, coração, pulmões (principal causa de morte por efeitos secundários), fígado e rins.

Das investigações de vários autores (Campbell, 1985 e Rosenthal *et al.*, 1968) em porcos e cães, conclui-se que:

- As queimaduras térmicas do trato respiratório ocorrem, apenas, se a temperatura do ar e/ou humidade no ambiente forem suficientes para causar queimaduras na pele do rosto (superiores a 60°C e/ou a 32% de humidade do ar), condições que podem ser agravadas pela utilização de água pelos meios de socorro;
- O ar seco ($\pm 300^\circ\text{C}$) pode causar queimaduras na laringe e após alguns minutos existe o risco de morte, podendo também ocorrer a temperaturas menos elevadas ($\pm 120^\circ\text{C}$) se o tempo de exposição for superior a uma hora. A tolerância térmica à exposição a temperaturas elevadas por convecção para a pele desprotegida nos seres humanos está normalizada nos 120°C de temperatura ambiente;
- A humidade do ar, o vapor, o fumo e os gases de combustão têm elevada capacidade térmica aumentando o risco para o ser humano. As temperaturas na ordem dos 100°C: este efeito pode ser minimizado através da exaustão de fumos e gases da combustão;
- A exposição a temperaturas elevadas por condução assume especial importância quando a superfície da pele está em contacto direto com uma superfície a temperatura superior: um segundo em contacto com um metal a 60°C provoca queimaduras;
- A pele sujeita a exposição por radiação pode estar sujeita a aproximadamente 2,5kW/m², abaixo deste fluxo a exposição é tolerada até cinco minutos. Quando os ocupantes têm de passar por uma camada quente de fumos (considerando que esta se encontra a 200°C), o tempo de exposição máximo à radiação incidente (t_{Irad} , em minutos) é dado em função do fluxo de energia radiante (q) pela equação (2.1):

$$t_{Irad} = \frac{1,33}{q^{1,33}} \quad (2.1)$$

A resposta a temperaturas elevadas difere de indivíduo para indivíduo e das condições ambientais, contudo os limiares a considerar são os seguintes: o limiar da dor ocorre entre 1,333 e 1,667 (kW.m⁻²)^{-4/3} minutos, para queimaduras de segundo grau cerca de 4-12,17 (kW.m⁻²)^{-4/3} minutos e terceiro grau cerca de 16,667 (kW.m⁻²)^{-4/3} minutos.

Elneil (1968) propôs limites de exposição a temperaturas elevadas em função da forma de transferência de energia e respetiva intensidade, *cf.* Quadro 2.2.

Quadro 2.2 - Limite de exposição a temperaturas elevadas. (Fonte: Elneil, 1968)

Forma de transferência de energia	Intensidade	Tempo tolerado
Radiação	< 2.5kW.m ⁻²	> 5 minutos
	2.5kW.m ⁻²	30 segundos
	10kW.m ⁻²	4 segundos
Convecção	< 60°C e 100% saturado	> 30 minutos
	100°C e <10% H ₂ O	12 minutos
	120°C e <10% H ₂ O	7 minutos
	140°C e <10% H ₂ O	4 minutos
	160°C e <10% H ₂ O	2 minutos
	180°C e <10% H ₂ O	1 minutos

Em incêndios o fluxo de energia tende a ser direcional pelo que o principal problema em situação de incêndio tende a ser o aquecimento local de áreas específicas da pele exposta. As vítimas de incêndio podem ser afetadas pela inalação de fumos e gases (quentes e húmidos) irritantes e pelos efeitos secundários destes nos pulmões e/ou na pele, que combinados podem causar lesões no trato respiratório, inclusive após a exposição ao fogo. Os danos da exposição são minimizados com a diminuição do tempo de exposição: o fator tempo assume especial importância até aos 30 minutos de exposição.

2.1.2. Fumo

A reação de combustão é exotérmica associada a uma elevada libertação de energia e ao aumento de temperatura. A transmissão de energia no ambiente aumenta a propagação do fogo, de tal forma que no espaço envolvente ao foco de incêndio os materiais atingem temperaturas elevadas promovendo a libertação dos gases voláteis dos materiais combustíveis. Na presença de oxigénio, em proporções ideais de mistura, esses gases inflamam e dão origem à chama, fonte de transferência da energia a outros materiais através da emissão de radiação, propagando assim energia de uma forma multidirecional.

A produção de fumos é representada pela suspensão de finas partículas de carbono, mais ou menos opacas, que reduzem a visibilidade e dependendo da sua concentração podem aumentar a irritabilidade dos olhos e das vias de respiração diminuindo a capacidade de raciocínio das pessoas e influenciando a sua estabilidade emocional. Estes efeitos poderão comprometer o movimento de evacuação do edifício, aumentando o tempo de evacuação do edifício.

Os principais fatores que influenciam a decisão de um ocupante se deslocar em ambientes com fumo é a memória visual do caminho de evacuação e a capacidade para estimar a distância da rota (distâncias superiores a 20m são consideradas rotas longas) e o tempo necessário para atingimento do local seguro. Outras variáveis são consideradas, tais como a perceção das consequências do fumo, a densidade do fumo e a presença ou ausência de temperaturas elevadas, de acordo com Bryan (1983).

O perigo das condições de sobrevivência não estarem presentes e de os ocupantes não conseguirem completar o percurso de evacuação, decidindo voltar atrás foi estudado por Fahy e Proulx (1995). Este movimento ocorre principalmente devido ao fumo, acumulação de pessoas, portas fechadas, dificuldade respiratória, medo e diminuição da visibilidade, com maior incidência em edifícios altos de acordo com Proulx (1998).

O deslocamento de pessoas no fumo antes da incapacidade varia com a resistência do indivíduo assim como com os conhecimentos das regras de evacuação em situação de incêndio.

Heskestad e Pederson (1998) através das suas experiências (com ambientes simulados abaixo dos 3m de visibilidade) concluíram que os sistemas de orientação tácteis e audíveis podem ser tão adequados como os sistemas visíveis: auxiliam os movimentos dos indivíduos através do fumo.

Jin (1997) recorrendo a ensaios experimentais em pessoas submetidas a ambientes com fumo branco irritante e a ambientes com fumo escuro não irritante verificou que a influência do fumo branco irritante no deslocamento das pessoas é maior que o fumo escuro não irritante. As pessoas deslocaram-se a menores velocidades em ambientes com visibilidade menor e irritabilidade/toxicidade maior. Aproximadamente 30% das pessoas interromperam o movimento de saída para o exterior depois de o ter iniciado quando a visibilidade é reduzida (visibilidade inferior a 0,60m). O efeito da irritabilidade dos gases da combustão é maior na velocidade das pessoas do que a diminuição da visibilidade.

Em 2002 o mesmo autor propõe limites de densidade e visibilidade de fumo considerados seguros para a evacuação, dividindo-os em dois ambientes: quando os ocupantes estão familiarizados com a geometria do edifício (familiar) e a situação oposta (não familiar), conforme o Quadro 2.3.

Quadro 2.3 - Critérios de densidade e visibilidade de fumo com influência na evacuação. (Fonte: Jin, 2002)

Grau de familiaridade dos ocupantes com o interior do edifício	Densidade de fumo: coeficiente de extinção (1/m)	Visibilidade (m)
Não familiar	0,15	13
Familiar	0,5	4

Jin verificou que a visibilidade das saídas de emergência em ambiente de fumo aumenta quando aquelas se encontram iluminadas com luminárias, acrescentando que a eficácia da iluminação das saídas de emergência é incrementada com a aplicação de raios de luz na direção da saída de emergência (aplicável até à densidade de fumo de 0,41/m): este processo alternativo melhora a visibilidade das saídas de emergência e a orientação dos ocupantes no compartimento de incêndio.

Proulx (2002) refere que o aumento da densidade do fumo ofusca as luminárias de emergência diminuindo a sua visibilidade: de forma a minimizar este efeito em situação de incêndio, a sinalética fotoluminescente dos caminhos de evacuação tem sido aplicada. Proulx afirma ainda que a velocidade de deslocamento dos ocupantes em caminhos de evacuação com sinalização fotoluminescente aumenta.

Kobes *et al.* (2010) estudaram a evacuação de um hotel estudando a influência do fumo e a colocação de sinalética de emergência junto ao chão, com recurso a dois exercícios de incêndio um com aviso prévio (à tarde) e outro sem aviso (à noite, quando as pessoas se encontravam a dormir) onde se simularam quatro cenários e posteriormente realizaram-se entrevistas e questionários aos participantes.

Comparados os resultados experimentais, os autores concluíram que:

- O tempo de reação de um grupo de ocupantes que evacuam pelo caminho de evacuação definido é mais rápido do que para o grupo que evacua pela saída principal do hotel;
- O grau de confusão é maior no cenário onde o fumo não é perceptível comparado com o cenário onde o fumo é perceptível;
- O prévio conhecimento do caminho de evacuação tem uma forte correlação com a seleção do caminho de evacuação quando o fumo não é perceptível. Nos cenários em que o fumo é perceptível o conhecimento prévio do caminho também tem influência na seleção da saída mas a correlação não é tão forte como no primeiro cenário.
- O prévio conhecimento do caminho de evacuação influencia na escolha da rota: os resultados indicam que as pessoas que utilizam com frequência o hotel a maioria evacuou pela saída principal e que o conhecimento prévio do caminho de evacuação tem influência na seleção da saída, especialmente quando o fumo não é perceptível.
- O fumo tem influência na seleção da rota: quando o fumo não é perceptível a maioria dos ocupantes evacuam pela saída principal e quando o fumo segue na direção da saída principal a maioria dos participantes utilizam a saída de emergência.
- Os resultados de seleção do caminho de evacuação, da velocidade média de movimento, da distância média do percurso e do tempo médio de movimento até à saída indicam que o tempo de evacuação não é unicamente determinado por aqueles fatores, verificando-se que o comportamento dos evacuados durante a evacuação também desempenha um papel decisivo;
- Quando o fumo é visível as pessoas tendem a mover-se mais rápido;

- A colocação da sinalização de emergência ao nível do solo tem influência positiva no uso da saída de incêndio mais próxima e,
- As observações do questionário indicam que as pessoas têm dificuldades em recordar os eventos ou situações durante uma evacuação de incêndio.

2.1.3. Gases da combustão

A presença de gases tóxicos em concentrações elevadas durante o incêndio interfere no sistema respiratório dos ocupantes, podendo levar à morte.

Para os gases asfixiantes o critério com maior relevância é a sua concentração nas vias de circulação uma vez que afetam o fornecimento de oxigénio às células do cérebro (e restante corpo), enquanto para os gases irritantes o fator mais importante é a sua concentração nas vias respiratórias (nariz, garganta e pulmão).

O monóxido de carbono é um gás inodoro asfixiante que associando-se à hemoglobina, forma a carboxiemoglobina que impede o transporte de oxigénio e as trocas gasosas entre os tecidos do organismo.

O dióxido de carbono é um gás presente na atmosfera e o produto resultante das trocas gasosas do organismo. É também o produto resultante das combustões: em situação de incêndio as concentrações do gás podem ascender a valores muito superiores aos valores atmosféricos e perigosos para o ocupante.

Alguns materiais utilizados na indústria da construção (à base de polímeros) contêm cloro na sua composição: aquando da sua pirólise este é libertado sob a forma de ácido clorídrico ou de acroleína, os quais afetam o comportamento humano em situação de incêndio.

Os produtos não voláteis resultam da transformação do combustível durante a combustão: são os resíduos no estado sólido e/ou líquido produzidos na sequência da fusão dos combustíveis sólidos. Os produtos não voláteis não sofrem decomposição, depositando-se sob a forma de cinza, podendo afetar as vias respiratórias e a visão.

No decorrer de um incêndio com presença de oxigénio tende, também, a formar-se vapor de água. Contudo o impacto do vapor de água na evacuação não é significativo.

Os limites de exposição dos gases tóxicos em situação de incêndio variam de autor para autor. Purser (2002) apresentou um conjunto de limites de exposição a gases tóxicos, como resultado dos seus estudos e de outros investigadores conforme o Quadro 2.4.

Quadro 2.4 - Concentrações irritantes e letais de gases tóxicos e asfixiantes. (Fonte: Purser, 2002)

Gás tóxico	5 minutos		30 minutos	
	Incapacidade/ Irritação	Morte	Incapacidade/ Irritação	Morte
Gases tóxicos asfixiantes				
Monóxido de carbono (CO)	6.000-8.000 ppm	12.000-16.000 ppm	1.400-1.700 ppm	2.500-4.000 ppm
Ácido cianídrico (HCN)	150-200 ppm	250-400 ppm	90-120 ppm	170-230 ppm
Oxigénio (O ₂)	10-13%	<5%	<12%	6-7%
Monóxido de carbono (CO ₂)	7-8%	>10%	6-7%	>9%
Gases tóxicos irritantes				
Ácido clorídrico (HCl)	75-300 ppm	12.000-16.000 ppm	300-1.000 ppm	2.000-4.000 ppm
Acroleína (CH ₂ CHO)	1-5 ppm	500-1000 ppm	5-95 ppm	50-135 ppm

O risco tóxico dos fumos e gases da combustão é calculado com base no conceito de dose efetiva fracionária (*FED*). É a relação entre a concentração de fumo e gases tóxicos a que o indivíduo foi sujeito num determinado instante e a dose de incapacitação ou morte ao fumo e gases tóxicos. A dose efetiva fracionária é calculada pela equação (2.2), proposta por Hartzell *et al.* (1985) – quando o resultado da dose for superior a um então as condições ambientais são insustentáveis para a vida humana.

$$FED = \frac{\text{concentração recebida até ao momento}}{\text{concentração efetiva para o dano ou morte}} \quad (2.2)$$

A equação (2.2) é também utilizada pelo *FDS+EVAC* (*Fire Dynamics Simulator and Evacuation*), como se explicará no capítulo 4.

Depois de identificados os produtos da combustão que interferem na evacuação em situação de incêndio, os mesmos devem ser avaliados em duas etapas distintas: no início do incêndio (sem a presença de chama) e quando o incêndio se encontra completamente desenvolvido (na fase pós-flashover), determinando-se:

- As concentrações, individuais, dos produtos da combustão em função do tempo de exposição (normalizados, através de ensaios ao fogo em pequena e grande escala e de modelação matemática, ao longo do tempo) e,
- O efeito combinado dos produtos da combustão em função do tempo e concentração a que o indivíduo é suscetível de ser exposto e das características de toxicidade daqueles.

A partir destes dois conjuntos de dados, é possível construir um modelo de previsão do tempo para causar incapacidade ou morte, devido à toxicidade do(s) produto(s) a que a vítima é passível de ser exposta em situação de incêndio.

Sempre que existam os recursos necessários será, também, vantajoso estudar a carga de incêndio em função do volume de ar em que os produtos são dispersos, as concentrações de outros gases tóxicos como ácidos como o ácido fluorídrico (HF), o ácido clorídrico (HCl), o ácido bromídrico (HBr), o dióxido de enxofre (SO₂) e o dióxido de nitrogénio (NO₂) e o perfil de produto orgânico, particularmente da oxidação orgânica, nomeadamente quando estão presentes espécies como a acroleína, o formaldeído, e o crotonaldeído.

Os cenários apresentados no Quadro 2.5 assumem especial relevância quando analisamos dados estatísticos, a título de exemplo, do Reino Unido: 80% das mortes de fogo e lesões ocorrem em habitações domésticas e na maioria dos casos as vítimas deslocam-se para o compartimento de origem do incêndio.

Quer o ensaio de fogo real quer a modelação de incêndio deverão de fornecer a concentração dos principais produtos de combustão em função do tempo, para identificar o momento de incapacitação das vítimas ou quando as dificuldades de evacuação ficam comprometidas: durante o incêndio ou mais tarde, como resultado dos possíveis efeitos secundários).

Quadro 2.5 - Classificação da toxicidade do ambiente de incêndio e dos tempos de incapacitação e evacuação. (Fonte: Purser, 2000)

Cenário	Crescimento do incêndio	Rácio CO ₂ /CO	Gases tóxicos	Tempo de incapacitação	Tempo de evacuação disponível
Sem chama: a vítima encontra-se no compartimento de origem do incêndio ou fora deste	Lento	1	CO entre 0 e 1500ppm Baixo teor em O ₂ : entre 15 e 21% Fumo e gases irritantes	Horas	Muito
Com chama: a vítima encontra-se no compartimento de origem do incêndio	Rápido	Entre 1.000 e 50	CO entre 0 e 1% CO ₂ entre 0 e 10% Baixo teor em O ₂ : entre 10 e 21% Fumo, gases irritantes e temperaturas elevadas	Alguns minutos	Alguns minutos
Com chama: a vítima encontra-se no compartimento de origem do incêndio ou fora deste	Inconstante	< 10	CO entre 0.2 e 4% CO ₂ entre 1 e 10% Baixo teor em O ₂ : <12 % Fumo, gases irritantes e temperaturas elevadas	Alguns minutos	Alguns minutos
Pós flashover (incêndio completamente desenvolvido) e vítima encontra-se fora do compartimento de incêndio			CO entre 0 e 3% HCN entre 0 e 500ppm Fumo, gases irritantes e temperaturas elevadas	Inferior a um minuto quando perto do incêndio, longe dependerá do grau de propagação do fumo	A evacuação poderá tornar-se impossível ou muito restrita no tempo. O tempo de evacuação aumenta com o aumento da distância ao incêndio

As investigações de Webber (1983) aprofundadas por Ouellette e Rea (1989) abordaram a influência da iluminação de emergência e definiram três níveis de influência distintos: a habilidade do indivíduo em passar por um espaço sem colidir com os objetos, a influência do nível de iluminância na velocidade de deslocamento do indivíduo e conseqüentemente no tempo de evacuação e a influência na percepção, subjetiva, do conforto/grau de segurança na rota.

A IESNA (*Illuminating Engineering Society of North America*) recomenda a intensidade média de 5 lx no piso para iluminação de emergência, que induz a uma redução de aproximadamente 20% na velocidade de deslocamento das pessoas entre 50 a 70 anos de idade, quando comparada com a velocidade média a 300 lx. A 1 lx e 0,2lx a redução de velocidade em relação aos 300 lx é de 31% e 50%, respectivamente. Para jovens a redução da velocidade média de deslocamento é de, respectivamente, 12%, 20% e 30% a 5 lx, 1 lx e 0,2 lx em relação aos 300 lx.

A legislação portuguesa, na portaria n.º 1532/2008, de 29 de Dezembro - regulamento técnico de segurança contra incêndios em edifícios (RT-SCIE), distingue quanto aos critérios de iluminação das vias de evacuação a iluminação de ambiente de segurança destinada a iluminar os locais de permanência habitual de pessoas evitando situações de pânico. E a iluminação de balizagem ou circulação destinada a facilitar a visibilidade no encaminhamento seguro das pessoas até uma zona de segurança e, ainda, a possibilitar a execução das manobras respeitantes à segurança e à intervenção dos meios de socorro. Define também iluminação de substituição.

O RT-SCIE (art.º 114.º) define que a iluminação de ambiente deve garantir níveis de iluminância tão uniformes quanto possível, com um valor mínimo de 1 lx, medido no piso. Enquanto na iluminação de balizagem ou de circulação os dispositivos devem garantir 5 lx, medidos a 1 m do piso ou obstáculo a identificar.

Quando os caminhos horizontais de evacuação são exclusivamente assinalados através de passadeiras pintadas nos pisos, os dispositivos de iluminação devem ser distribuídos de modo a garantir o nível médio de iluminância de 10 lux, medido num plano situado a 1 m do piso, e, se necessário, ser devidamente protegidos contra ações dinâmicas, de acordo com o art.º 224º do RT-SCIE.

No processo de evacuação a identificação da sinalização de emergência assume um papel fulcral: com efeito, encontram-se em desenvolvimento várias investigações com o objetivo de analisar a eficácia a iluminação de emergência fluorescente e/ iluminação de emergência intermitente de forma a aumentar o nível de orientação ao longo da rota, quando a visibilidade é reduzida e face à falha de energia elétrica.

O RT-SCIE prevê, também, que toda a iluminação e sinalização esteja devidamente sinalizada nos caminhos de evacuação.

Jin (2002) alertou ainda para o fato de a visibilidade em situação de incêndio ser dependente da natureza irritante do fumo: o aumento do efeito irritante do fumo provoca uma queda acentuada da acuidade visual e aumento da instabilidade emocional que por sua vez depende do nível de familiaridade do indivíduo com o edifício e com a presença de chamas.

2.2. Influência do perfil dos ocupantes no processo de evacuação

O perfil psicológico e fisiológico da população alterou-se nas últimas décadas, com parte significativa da população agora constituída por pessoas mais obesas e portanto, com largura de ombro a ombro maior e conseqüentemente ocupando maior espaço e possivelmente deslocando-se a menor velocidade para as mesmas condições.

O aumento da população de terceira idade é outro fator que contribui para o aumento dos tempos de evacuação de edifícios.

Ao invés, em alguns países é notória a preocupação dos governantes e entidades responsáveis por fomentar o espírito de segurança formando e treinando os cidadãos para atuação em situação de emergência, fator positivo no cálculo do tempo de evacuação de um edifício.

O capítulo pretende identificar diferenças entre as características dos ocupantes, propondo, sempre que possível valores padrão para a sua consideração no tempo de evacuação.

2.2.1. Género

O estudo das respostas comportamentais em situação de incêndio estudadas por Wood (1972) na Grã-Bretanha e Bryan (1977) nos EUA em edifícios residenciais identificaram diferenças no comportamento humano quanto ao género, principalmente nas primeiras ações desenvolvidas em situação de incêndio.

Os ocupantes do sexo masculino são mais ativos no combate ao incêndio, as ocupantes empenham-se em alertar/comunicar o incêndio aos restantes ocupantes e a auxiliar na sua evacuação.

Os autores categorizaram as ações iniciais, em função do género, conforme o Quadro 2.6. A preocupação inicial tanto do sexo feminino como do masculino é o alerta dos restantes ocupantes diferindo posteriormente as ações.

Os indivíduos do sexo masculino são predominantes em atividades de combate ao incêndio: 14,9% dos inquiridos começaram por procurar o foco de incêndio opondo a 6,3% das mulheres e 6,9% estiveram envolvidos na ação de utilização de extintores de incêndio em oposição a 2,8% do sexo feminino. Os indivíduos do sexo feminino focam-se no alerta dos ocupantes e comunicação aos meios de socorro.

No que se refere ao comportamento de evacuação 10,4% do sexo feminino privilegiaram a evacuação do edifício contrastando com 4,2% do sexo masculino. Segundo o autor, a influência cultural sobre os participantes do sexo feminino é explícita quanto à união da família em que 11% é a primeira ação do sexo feminino contra a apenas 3,4% do sexo oposto.

Quadro 2.6 - Primeiras ações desenvolvidas em situação de incêndio, segundo o género, nos EUA. (Fonte: Bryan, 2002)

Primeira Ação	Sexo Masculino (em %) P ₁	Sexo Feminino (em %) P ₂	P ₁ -P ₂
Alertar os outros ocupantes	16,3	13,8	2,5
Procurar o foco de incêndio	14,9	6,3	8,6
Comunicar aos meios de socorro	6,1	11,4	5,3
Verificar o vestuário (se está vestido)	5,8	10,1	4,3
Abandonar o edifício	4,2	10,4	6,2
Unir a família	3,4	11,0	7,6
Combater o incêndio	5,8	3,8	2,0
Utilizar extintores de incêndio	6,9	2,8	4,1
Abandonar a área de incêndio	4,6	4,1	0,5
Acordar	3,8	2,5	1,3
Nada	2,7	2,8	0,1
Comunicar a outros	3,4	1,3	2,1
Procurar pelos bens pessoais	1,5	2,5	1,0
Voltar ao compartimento de incêndio	1,9	2,2	0,3
Remover o combustível	1,1	2,2	1,1
Entrar no edifício	2,3	0,9	1,4
Tentar sair	1,5	1,6	0,1
Ativar o alarme de incêndio	1,1	1,9	0,8
Telefonar a outros/familiares	0,8	1,6	0,8
Tentar extinguir o incêndio	1,9	0,6	1,3
Fechar a porta do compartimento de incêndio	0,8	1,3	0,5
Desligar alarme de incêndio	1,1	0,6	0,5
Desligar aparelhos	0,8	0,9	0,1
Verificar animais	0,8	0,9	0,1
Outros	6,5	2,5	4,0

A análise da reentrada no edifício como ação é estudada no capítulo 2.4.

2.2.2. Comportamento das pessoas com necessidades especiais em situação de incêndio

As pessoas com deficiência deverão ter as mesmas oportunidades em situação de incêndio que as demais, indicando algumas estratégias alternativas de evacuação com, no mínimo, o mesmo nível de segurança (como alarmes visuais e sonoros, áreas de refúgio ou elevadores de segurança).

O capítulo refere-se à evacuação de pessoas com necessidades especiais onde se deverão incluir pessoas com dificuldades de deslocamento, deficiências de visão, audição e dificuldades cognitivas, problemas cardíacos ou respiratórios permanentes ou temporários assim como grávidas e crianças (como categorizado na *NFPA de 2007 “Emergency evacuation planning guide for people with disabilities”*).

A acessibilidade supõe a possibilidade de todos os ocupantes atingirem um ponto seguro no edifício durante a evacuação, contudo não implica que a forma de evacuação seja igual ou pelo mesmo percurso. A prevalência da população com deficiências é semelhante nos países desenvolvidos: aproximadamente 10% da população mundial vive permanentemente ou temporariamente com algum tipo de deficiência (de acordo com as Nações Unidas).

Proulx (2002) afirma a crescente preocupação dos organismos governamentais e entidades responsáveis em proporcionar a segurança a todos os ocupantes dos edifícios, com especial enfoque em edifícios que recebem público.

Algumas estratégias facilitadoras da evacuação de pessoas com necessidades especiais em situação de emergência têm sido desenvolvidas e amplamente aplicadas em edifícios que recebem público. Como criação de zonas de refúgio complementadas de compartimentação resistente ao fogo adequada, disponibilização de elevadores de evacuação e estratégia *buddy system* que define uma ou mais pessoas a quem é atribuída a responsabilidade de evacuar a pessoa com necessidade (utilizado com maior frequência em ambientes de trabalho do que em espaços que recebem público).

A NFPA acima referida define que no planeamento da emergência para pessoas com necessidades especiais em situação de emergência dever-se-ão ter, no mínimo, as seguintes preocupações: a forma de notificação da emergência, a definição do caminho/ rota de evacuação (e respetivas indicações), o meio de circulação (o próprio, auxiliado por outro ou por dispositivos mecânicos) e as respostas às perguntas quem?, como/por que meio?, onde/por onde?, quando?.

No que concerne à diminuição da capacidade de deslocamento deverá de ser considerada a hipótese de esta poder ser aumentada por uma explosão e/ou pela diminuição da visibilidade.

Os edifícios, especialmente os projetados e construídos em conformidade com os requisitos exigidos para pessoas com necessidades especiais previstos na regulamentação da maioria dos países desenvolvidos, tendem a disponibilizar as condições mínimas de evacuação para esta população.

A resposta eficaz de um edifício prende-se não só com as condições de resistência e reação ao fogo dos componentes do próprio edifício mas também pela formação e treino adequados dos seus utilizadores.

Em edifícios destinados a receber principalmente pessoas com necessidades especiais, tais como hospitais e lares de idosos a formação adequada dos utentes e funcionários para a proteção de todos os ocupantes até que a evacuação do edifício seja possível é fundamental. Segundo Bryan *et al.* (1979) quando os responsáveis pela segurança implementam os procedimentos de evacuação é possível a manutenção da prestação dos cuidados de saúde mesmo em condições adversas, até que seja reposta a normalidade.

Juillet (1993) analisou a evacuação de vinte e sete ocupantes com deficiência de uma das torres do *World Trade Center* durante a explosão e incêndio de 26 de Fevereiro de 1993: dos entrevistados catorze tinham mobilidade reduzida, três eram cegos ou com deficiência auditiva, três encontravam-se grávidas, dois ocupantes tinham problemas cardíacos e sete problemas respiratórios e encontravam-se aproximadamente cem pessoas dentro do WTC.

O tempo médio de evacuação de todos os indivíduos em estudo foi de 3,34 horas, com o mínimo de 40 minutos e o máximo de mais de 9 horas. Os meios de evacuação mais utilizados pelos entrevistados foram as escadas com o auxílio de outros ocupantes ou da equipa de emergência. Juillet descreve nos seus estudos que na ausência de entidades competentes de evacuação os ocupantes com necessidades especiais aceitam ser auxiliados por colegas e/ou ocupantes do edifício.

O *Institute for Fire Safety Engineering Research and Technology*, nomeadamente Boyce *et al.* (1999) realizaram um conjunto de estudos na Irlanda do Norte de forma a fornecer dados para a previsão do número e características das pessoas com deficiência passíveis de frequentar edifícios que recebem público. Com o seu estudo, os autores concluíram que 12% da população da Irlanda do Norte que frequenta espaços que recebem público tem algum tipo de deficiência e que desses 2% necessita de auxílio em situação de incêndio. Os autores realizaram ainda um inquérito num centro de acolhimento de pessoas com deficiência de forma a traçar o perfil das pessoas. De acordo com o Quadro 2.7, dos inquiridos somente 3% frequenta centros comerciais, mas da população total que frequenta espaços comerciais 10% necessitariam de assistência em situação de emergência. Outro aspeto relevante para efeitos do estudo é a frequência de cinemas por estas pessoas, que atinge valores superiores 12% e 21% respetivamente.

Quadro 2.7 - Envolvimento das pessoas com deficiência na sociedade. (Fonte: Boyce *et al.*, 1999)

Atividade	Adultos			Crianças			Adultos e crianças		
	NA	A	T	NA	A	T	NA	A	T
Teatro, ópera, musicais, ballet ou cinema	9756 10%	2514 19%	12270 11%	1028 23%	387 25%	1415 24%	10784 11%	2901 21%	13685 12%
Centro comercial	1532 2%	2233 17%	3765 4%	153 3%	53 3%	206 3%	2235 2%	1330 10%	3565 3%
Participantes e espectadores de espetáculos desportivos	13161 14%	1006 8%	14167 13%	3205 73%	1084 71%	4289 73%	16366 17%	2090 15%	18456 16%
Cafés e pastelarias	8052 9%	898 7%	8950 8%	-	-	-	8052 8%	898 6%	8950 8%
Hotel ou acomodação de férias	40220 43%	4437 33%	44657 42%	-	-	-	40220 41%	4437 32%	44657 40%
Restaurantes	1318 1%	2032 15%	3350 3%	-	-	-	1277 1%	2032 15%	3350 3%
Funcionário de organização	18896 20%	229 2%	19125 18%	-	-	-	18896 19%	229 2%	19125 17%
Escola (comum)	350 0%	0 0%	350 0%	0 0%	0 0%	0 0%	350 0%	0 0%	350 0%
Universidade	316 0%	0 0%	316 0%	0 0%	0 0%	0 0%	316 0%	0 0%	316 0%
Somatório dos inquiridos	93601	13349	99950	4386	1524	5910	98496	13917	112454

* Em que NA – sem assistência; A com necessidade de assistência; T - somatório

Os mesmos autores concluíram também que as principais dificuldades dos ocupantes durante a evacuação encontram-se ao nível da subida e descida de escadas e de pequenos degraus e na abertura de portas, nomeadamente as maçanetas.

Boyce *et al.* (1999) definiram também velocidades médias ascendentes e descendentes para o deslocamento em vias horizontais, verticais e em rampas de acordo com o nível de assistência dos ocupantes, conforme o Quadro 2.8, o Quadro 2.9 e o Quadro 2.10. Em vias horizontais é a movimentação com cadeira de rodas manual com assistência que tem associada a maior velocidade de deslocamento.

No movimento ascendente e descendente de vias verticais e de rampas de evacuação de pessoas com deficiência a maior preocupação, nomeadamente quanto à velocidade média de deslocamento, é em pessoas com deficiência que não a de deslocamento, como com deficiências ao nível da visão e audição.

A velocidade de deslocamento é ligeiramente superior no movimento decrescente em rampas enquanto em escadas a subida é mais rápida.

Quadro 2.8 - Velocidade de deslocamento em vias horizontais. (Fontes: Boyce *et al.*, 1999 e Ono, 2010)

Grupo de pessoas	Média (m/s)	Desvio padrão (m/s)	Faixa de velocidade (m/s)	Faixa interquartil (m/s)
Média de grupo	1	0,42	0,10-1,77	0,71-1,28
Com dificuldade de deslocamento	0,8	0,37	0,10-1,68	0,57-1,02
Sem ajuda	0,95	0,32	0,24-1,68	0,70-1,02
De moletas	0,94	0,30	0,63-1,35	0,67-1,24
De bengala	0,81	0,38	0,26-1,60	0,49-1,08
De andarilho	0,57	0,29	0,10-1,02	0,34-0,83
Sem dificuldade de deslocamento	1,25	0,32	0,82-1,77	1,05-1,34
Em cadeira de rodas elétrica ¹	0,89	-	0,85-0,93	-
Em cadeira de rodas manual	0,69	0,35	0,13-1,35	0,38-0,94
Em cadeira de rodas manual com assistência	1,30	0,34	0,83-1,98	1,02-1,59
Ambulante com assistência ²	0,78	0,34	0,21-1,40	0,58-0,92

¹ Amostra de 2 indivíduos

² Pessoas que podem andar mas com dificuldade ou que têm uma deficiência que afeta a marcha ou que não têm pleno uso de pelo menos um braço ou mão ou que carecem de coordenação

Quadro 2.9 - Velocidade de deslocamento ascendente e descendente em vias verticais. (Fontes: Boyce *et al.*, 1999)

Grupo de pessoas	Média (m/s)	Desvio padrão (m/s)	Faixa de velocidade (m/s)	Faixa interquartil (m/s)
Ascendente				
Com dificuldade de deslocamento	0,38	0,14	0,13-0,62	0,26-0,52
Sem ajuda	0,43	0,13	0,14-0,62	0,35-0,55
De moletas*	0,22	-	0,13-0,31	0,26-0,45
De bengala	0,35	0,11	0,18-0,49	-
De andarilho*	0,14	-	-	-
Sem dificuldade de deslocamento	0,70	0,24	0,55-0,82	0,55-0,78
Descendente				
Com dificuldade de deslocamento	0,33	0,16	0,11-0,70	0,22-0,45
Sem ajuda	0,36	0,14	0,13-0,70	0,20-0,47
De moletas*	0,22	-	-	-
De bengala	0,32	0,12	0,11-0,49	0,24-0,46
De andarilho*	0,16	-	-	-
Sem dificuldade de deslocamento	0,70	0,26	0,45-1,10	0,53-0,90

* Amostra de 1 indivíduo

Quadro 2.10 - Velocidade de deslocamento ascendente e descendente em rampas.(Fontes: Boyce *et al.*, 1999)

Grupo de pessoas	Média (m/s)	Desvio padrão (m/s)	Faixa de velocidade (m/s)	Faixa interquartil (m/s)
Ascendente				
Média de grupo	0,62	0,28	0,21-0,32	0,42-0,74
Com dificuldade de deslocamento	0,59	0,26	0,21-1,08	0,42-0,72
Sem ajuda	0,68	0,24	0,30-1,08	0,48-0,87
De moletas*	0,46	-	0,21-1,05	-
De bengala	0,52	0,24	0,21-1,05	0,38-0,70
De andarilho*	0,35	-	0,30-0,42	-
Sem dificuldade de deslocamento*	1,01	-	0,70-1,32	-
Descendente				
Média de grupo	0,60	0,30	0,10-1,83	0,42-0,70
Com dificuldade de deslocamento	0,58	0,25	0,10-1,22	0,42-0,70
Sem ajuda	0,68	0,24	0,28-1,22	0,45-0,94
De moletas*	0,47	-	0,42-0,53	-
De bengala	0,51	0,20	0,18-1,04	0,35-0,70
De andarilho*	0,36	-	0,10-0,52	-
Sem dificuldade de deslocamento*	1,26	-	0,70-1,83	-

* Amostra de 4 a 6 pessoas

O cálculo dos tempos de evacuação são baseados em velocidades padrão e na inclusão de tempos de pré-movimento. Boyce *et al.* (1999) realçam a importância de no cálculo do tempo de evacuação de pessoas com dificuldades de deslocamento sejam também incluídos tempos de repouso e de mudança de direção. Os mesmos autores relembram a importância dos acessórios de apoio ao deslocamento como corrimãos e a posição das portas na direção do percurso de evacuação.

Boyce *et al.* (1999) estudaram também a influência das dificuldades visuais na evacuação e concluíram que os sinais LED (diodos emissores de luz) são os mais visíveis e legíveis para este tipo de ocupantes.

A influência da presença de idosos em situação de incêndio foi estudada por Furukawa *et al.* (2007) e Okada *et al.* (2009) com recurso a um equipamento específico (adiante designado de “idoso temporário”) colocado em jovens de forma a reduzir-lhes as capacidades de visão (óculos), audição (tampões), tato (luvas) e de mobilidade (caneleiras, bengalas e bandas redutoras da mobilidade dos membros superiores), aproximando-os das dificuldades de idosos (entre os 75 e 80 anos de idade).

Ao invés de recorrerem a simulações computacionais, os investigadores expuseram os jovens a ambientes passíveis de lhes criar situações de ansiedade aumentando a proximidade a uma situação de incêndio real.

Durante as investigações validaram que existe uma diminuição da sensibilidade e do movimento e conseqüente diminuição da velocidade média de deslocamento (por comparação dos resultados às mesmas simulações nos jovens mas sem os referidos equipamentos). Contudo os estudos não possibilitam analisar o impacto da fadiga no processo de evacuação.

A NFPA (2007) introduz o conceito de utilização de animais como meio de transmissão e condução de pessoas com deficiência. Em Portugal, a presença de animais guia é permitida em todos os espaços, incluindo aqueles com proibição à entrada, desde que os animais e os donos se encontrem devidamente formados e com a documentação necessária, ao abrigo do decreto-lei 74/2007, de 27 de Março.

A explosão e incêndio no WTC de 1975 em que se verificou a perda de energia nas duas torres incluindo a energia de emergência isolou os ocupantes em elevadores: a 16ª edição da NFPA 101 de 1991 após diversas investigações sobre os procedimentos de segurança em elevadores introduziu o uso de elevadores de emergência em áreas de refúgio, com especificações técnicas rigorosas (quanto à carga e capacidade, sistema de deteção, de alarme, alerta e proteção de incêndio e saídas de emergência) que poderão ser utilizados como meio alternativo de saída de emergência.

Em Portugal, a previsão de elevadores de emergência para a evacuação dos ocupantes dos edifícios ainda não se encontra prevista na regulamentação de segurança contra incêndio.

2.3. Influência do efetivo do edifício

Togawa (1955) no pós II guerra mundial iniciou os estudos de evacuação de pessoas, melhorados e complementados por estudos de Fruin (1987). Acompanharam-no especialistas de evacuação ingleses Wright (1959) e russos Predtechenskii e Milinskii (1978) que propuseram diversas fórmulas e metodologias de cálculo quer empíricas quer baseadas em observação de fluxos médios de pessoas, apresentadas no capítulo 3.

Entre 1972 e 1982, o *National Research Council* (NRC) Canadá realizou várias observações concentrando-se no movimento de pessoas em grandes edifícios e em eventos de grande escala, concluindo que as preocupações no processo de evacuação não se deverão restringir apenas aos efeitos decorrentes do incêndio mas também ao movimento de pessoas e interação entre estas.

A presença de muitas pessoas aumenta a probabilidade de ocorrência de comportamentos não adequados por violência e/ou predominância de umas pessoas em relação às outras (como esmagamentos e atropelamentos de pessoas).

Os estudos de Pauls (1982), Fruin (1985) e Scicon (1972) permitiram identificar três indicadores para a ocorrência de acidentes durante a evacuação: a acumulação de pessoas em filas quando os corredores de emergência excedem a sua capacidade, a elevada densidade de pessoas (densidade crítica de $\approx 8p/m^2$) que promove a criação de ondas de choque e, a falha de comunicação do início da rota de evacuação para o fim e em situações de congestionamento aumentando a possibilidade de esmagamento no meio ou na parte da frente da rota, especialmente quando o movimento da frente é interrompido por uma barreira: os ocupantes esmagados/atropelados são incapazes de comunicar com os de trás.

Os mesmos estudos permitiram a criação de algumas diretrizes para o planeamento da emergência em espaços passíveis de acolherem um grande número de pessoas:

- Promoção da simplicidade dos caminhos de evacuação: diminui a necessidade de pesquisa de sinalética de evacuação pelo ocupante e promove a fluidez do fluxo de evacuação;
- Os caminhos de evacuação deverão de ser contínuos promovendo a circulação horizontal através de rampas;
- Manutenção de caminhos de evacuação (isto é, para o mesmo espaço, independentemente do evento, promover a manutenção dos caminhos de evacuação) e estes se manterem desimpedidos e,
- Promoção da dispersão das vias de evacuação bem como da separação dos ocupantes em grupos menores, diminuindo densidades de circulação.

A gestão da evacuação deverá ser estudada tanto na fase de conceção como de funcionamento/exploração de edifícios analisando a relação uso previsto/real do espaço e o comportamento humano adequando, sempre que necessário, os procedimentos de evacuação.

2.4. Influência do comportamento humano no processo de evacuação

A determinação da resposta comportamental dos indivíduos ao incêndio tem, pelo menos, cinquenta anos de pesquisa. A pesquisa por questionários aplicados pelos meios de socorro conclui que o comportamento humano ao fogo, na fase inicial de incêndio e antes da chegada dos meios de socorro, é afetado principalmente pelas características do edifício onde acontece o incêndio (complexidade e familiaridade do indivíduo com edifício) e com a percepção do indivíduo da severidade do incêndio e os procedimentos de deteção e alarme de incêndio.

Canter *et al.* (1978) e Swartz (1979) concluíram que a eficácia do comportamento em incêndios está ligada à percepção, quantidade e qualidade de informação disponível sobre a evolução da emergência, sugerindo que o planeamento da emergência deverá ser orientado para a disponibilidade e percepção dessa informação promovendo o seu entendimento por parte da população através de ações de educação. Nomeadamente sobre distâncias de segurança, tempos de evacuação e identificação dos principais sinais de incêndio, como referido por Pauls e Jones (1980).

Os estudos de Bryan (1977) permitiram definir a primeira, segunda e terceira ação face a uma situação de incêndio através de questionários aplicados nos EUA. O alerta a outros ocupantes e o abandono do edifício, a comunicação aos meios do socorro e o combate ao incêndio são as ações mais frequentes.

2.4.1. Perceção, deteção e alarme do incêndio

Keating e Loftus (1984) estudaram a influência dos meios de deteção e alarme de incêndio na evacuação quanto à sua forma de comunicação concluindo que as variações na qualidade/tom da voz, velocidade, volume e forma de transmissão, assim como do conteúdo da mensagem interferem na resposta dos ocupantes à situação de incêndio.

Kimura e Sime (1989) estudaram os tempos de resposta dos ocupantes e concluíram que o atraso na resposta é maior em sistemas de campainha de alarme e/ou de resposta codificada face a instruções verbais.

A comunicação verbal da mensagem de emergência promove a normalidade durante a evacuação. Contudo as mensagens informativas verbais devem de ser sincronizadas com os sinais de incêndio (como o fumo ou seu odor) evitando a ambiguidade entre as informações comunicadas e os sinais de incêndio e prevenindo a condução dos ocupantes para a zona de maior risco.

Através dos seus estudos Bryan (1977) hierarquizou onze categorias de consciencialização do incêndio por parte dos ocupantes: o odor do fumo, a notificação por ocupantes do edifício que não a família, o ruído (onde se inclui os sons gerados por pessoas que se deslocam em escadas ou corredores e os relacionados com os efeitos do fogo como a quebra de vidros ou movimento do fogo), a notificação pela família, a visualização do fumo e das chamas, explosão, sensação de calor, o som das sirenes dos meios de socorro, falta de eletricidade e o alerta por animais de estimação.

Kahn (1983) definiu que na deteção por sistema de alarme e alerta (como por um detetor de fumo com alarme sonoro) o sinal tem de ser perceptível ao ouvido humano e capaz de acordar um indivíduo.

Noble *et al.* (1981) *cf.* Proulx (2002) alertaram para o facto de o som de alerta poder ser atenuado pelos materiais constituintes do edifício como paredes, tetos em 50dB(A), portas em 15dB(A) e objetos existentes no meio de transmissão. E da probabilidade de o alarme sonoro poder ser confundido com os sons residuais dos equipamentos domésticos (como ares condicionados) ainda que essa confusão seja residual quando os ocupantes atuam em grupo.

A presença de outros ocupantes no edifício dificulta a percepção dos sinais de incêndio, do fumo, entre 5 a 20 segundos segundo Latane e Darley (1968). Os autores estudaram ainda a influência do comportamento entre os ocupantes concluindo que os indivíduos reagem em grupo: se a maioria permanece de forma passiva na fase inicial de incêndio então todos tendem a interpretar os sinais como ambíguos ou a não os considerar.

A influência social tende a inibir o comportamento de evacuação na fase inicial do incêndio e a definição da liderança do grupo. A tendência para imitar a interpretação dos sinais e as respostas comportamentais de outros é frequente em situações de incêndio em locais que recebem público como em restaurantes, hotéis, lojas, cinemas ou teatros.

A percepção do perigo de incêndio foi estudada por Withey (1962) que identificou e analisou sete etapas para a identificação e avaliação do risco de incêndio:

1. **Reconhecimento:** o indivíduo identifica os sinais de incêndio ambíguos como uma indicação de um possível incêndio, consciencializando-se do fogo.

A percepção dos sinais é maior quando estes são dinâmicos e contínuos com aumento de intensidade (devido à mecânica de fluidos, às propriedades de fogo, temperaturas elevadas e/ou produção de fumo). Face à ameaça inicial de incêndio o indivíduo tende a ser otimista atrasando a decisão de ativação do sistema de alarme de incêndio e consequentemente a evacuação e o combate ao fogo;

2. **Verificação:** o indivíduo ignora os sinais iniciais ou investiga procurando informações sobre a natureza e a gravidade da situação. A pesquisa tem inerente um tempo de atraso antes de iniciar o movimento de evacuação (o tempo de pré-movimento, estudado no capítulo 2.5.

Seguidamente o indivíduo valida os sinais percecionados, pesquisando informações adicionais ou validações verbais, tornando-se ciente da situação de incêndio;

3. **Definição:** é o procedimento pelo qual o indivíduo relaciona as informações adquiridas nas fases anteriores, avaliando qualitativamente e quantitativamente as informações percecionadas relativas ao foco, magnitude e consequências e efeitos imediatos do incêndio como a presença de chama, fumo e temperaturas elevadas.

Os fatores de *stress* e ansiedade no indivíduo começam a aumentar quando este identifica/define a situação de crise. Com a limitação do tempo de decisão, as pessoas envolvidas em incêndios enfrentam decisões difíceis no contexto do seu reduzido conhecimento de engenharia de segurança, do edifício e dos seus ocupantes e da propagação e desenvolvimento do incêndio.

Pauls e Jones (1980) resumiram o dilema de decisão com a frase *o que é uma ação apropriada num momento, pode ser bastante inadequada apenas um minuto mais tarde*.

4. **Avaliação:** é o processo cognitivo, físico e psicológico em que o indivíduo desenvolve a resposta à ameaça, através de estratégias de proteção ao incêndio e evacuação e de redução da ansiedade.

A avaliação é realizada, segundo Sime (1986), em função da localização do indivíduo à saída de emergência, o comportamento dos restantes indivíduos e da percepção da situação de risco.

O comportamento individual e grupal assume especial importância nesta etapa, como descrito no capítulo 2.2.2.

5. **Evacuação:** a evacuação e resposta ao fogo em geral é muitas vezes uma resposta social: as pessoas agem como um grupo e evacuam com pessoas com quem têm laços emocionais.

Não é expectável que os indivíduos se movimentem de forma mais rápida e eficiente em situação de emergência do que fariam rotineiramente;

6. **Atuação** (do inglês *commitment*): visa a atuação sob o incêndio desenvolvendo estratégias de proteção e combate ao fogo.

Quando a resposta não é efetiva, o indivíduo reavalia a situação e volta a atuar, *ao invés*, quando é eficaz o *stress* e a ansiedade do indivíduo diminui.

Nesta fase a agitação entre os indivíduos é elevada e a comunicação entre eles diminui, contudo existem também situações opostas, de inatividade expressa por imobilidade física ou perda da coerência da comunicação.

7. **Reavaliação ou re-atuação** (*overcommitment*): é uma etapa *stressante* derivada dos possíveis e sucessivos fracassos da fase anterior e da necessidade de reformulação de estratégias.

É mais intensa psicologicamente e fisiologicamente e o indivíduo avalia com menos cuidado os riscos a que está sujeito. A frustração pode surgir e a probabilidade de atuação com sucesso diminui ainda mais (p. ex. a utilização de saídas para a evacuação como vidros ou pisos superiores).

As respostas cognitivas nestas sete etapas são evolutivas e dinâmicas, sendo constantemente modificadas em função da amplitude, da velocidade e da intensidade das respostas dos indivíduos. As respostas fisiológicas e psicológicas são tão menores quanto maior for a ambiguidade das informações recebidas pelos indivíduos.

Proulx (1993) desenvolveu um modelo de gestão de *stress* de cinco etapas para a tomada de decisão em situação de incêndio, com base no modelo de Withey (1962), cf. Figura 2.1. O início da atuação das fontes de *stress* e percepção da ambiguidade da informação disponível: o indivíduo interpreta as informações defensivamente, ignorando ou minimizando os seus efeitos, estas informações são repetidas até que o indivíduo assimile a situação de emergência, o que pode demorar algum tempo. A interpretação da situação de emergência: a sobrecarga de informações sobre a situação e a validação da realidade e consequências da situação torna presente o sentimento de medo e o processamento de informações irrelevantes por parte da pessoa aumenta as fontes de *stress* e, por fim, o maior esforço mental para dominar o problema, reduzindo a pressão sobre o sistema nervoso mas aumenta fadiga e gera confusão no ocupante.

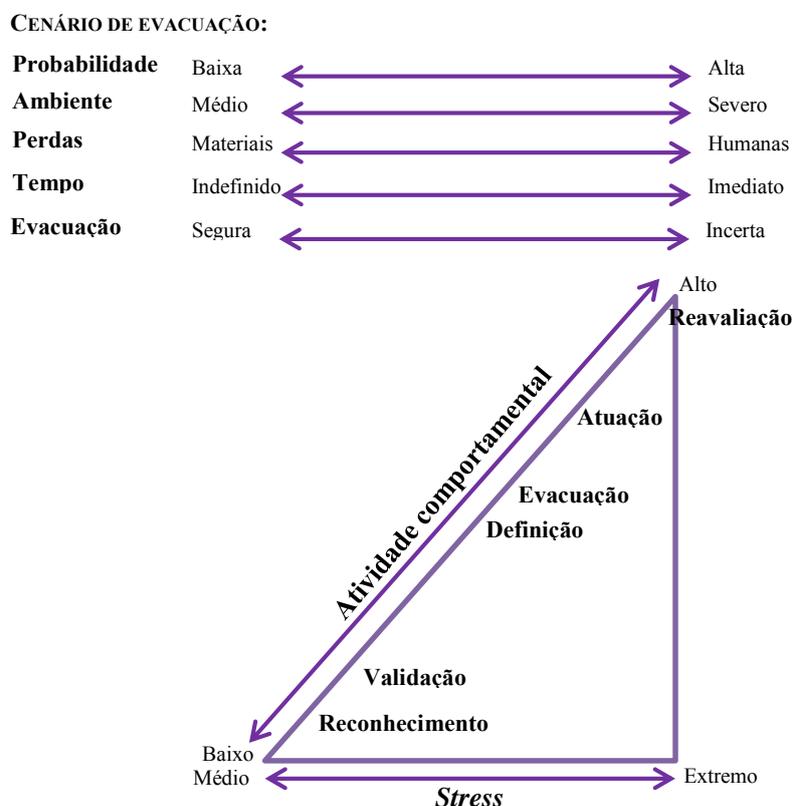


Figura 2.1 - Modelo de gestão do *stress* em situação de incêndio. (Fonte: John L. Bryan, 2002)

Outros modelos, com fundamentos idênticos foram apresentados, como os de Breaux *et al.* (1976). Estes autores reduziram de sete etapas para três etapas da gestão do *stress* em situação de emergência: reconhecimento/interpretação, comportamento (com ação ou omissão) e o resultado da ação que envolve a avaliação e os efeitos a longo prazo do comportamento.

2.4.2. Comportamento não adaptativo

O comportamento não adaptativo define a resposta comportamental de um indivíduo quando face à deficiente avaliação do cenário de incêndio poderá dificultar a evacuação do próprio (p. ex. evacuar o compartimento de incêndio sem fechar a porta), resultante de esquecimentos/omissões ou de ações cuja intenção poderia ser positiva mas que resulta em consequências negativas.

Seguidamente são apresentadas as seguintes situações de comportamento não adaptativo: pânico e reentrada no edifício.

O pânico é o comportamento não adaptativo que envolve uma resposta comportamental demasiado imprudente e/ou rara e tende a não ser limitado a um indivíduo.

Schultz (1968) definiu o pânico como um comportamento rápido induzido pelo medo e ansiedade, é não-racional, não adaptativo e não social e tende a reduzir as possibilidades de evacuação eficaz quer individualmente quer de grupo.

O conceito de pânico é utilizado para explicar situações de muitas mortes em situação de incêndio, mesmo quando não há nenhuma evidência física, social ou psicológica, que evidencie uma situação de pânico. Como demonstrado pelas entrevistas e questionários realizados aos sobreviventes do incêndio na discoteca de Beverly Hills em que morreram 164 pessoas a 28 de maio de 1977 e como concluiu o relatório da polícia estadual de Kentucky no mesmo ano.

O incêndio de 27 de Janeiro de 2013 em Rio Grande do Sul no Brasil que causou a morte a 242 pessoas e feriu 130 sugere também a ocorrência de pânico agravado pelo fato de os seguranças impedirem a saída dos ocupantes, de acordo com Souza e Silva (2013).

Quarantelli (1979) e Sime (1980) promovem a distinção entre o pânico associado à percepção dos sinais de incêndio e o inerente à competição física e danos pessoais durante a evacuação.

Ramachandran (1990) no seguimento da revisão da literatura concluiu que em situação de incêndio os ocupantes tendem a agir de forma inadequada mas altruísta (dentro das limitações impostas pelos seus conhecimentos, percepções e efeitos do incêndio) mas raramente entram em pânico ou atuam de forma irracional.

A reentrada no edifício foi estudada por Bryan (1957) baseando-se no incêndio no edifício de Arundel Parck nos EUA (considerado um evento familiar por ter ocorrido numa igreja). O autor concluiu que aproximadamente um terço dos indivíduos entrevistados reentraram no edifício enquanto o fogo ainda não se encontrava extinto, utilizando principalmente as vias de evacuação ou corredores dedicados à circulação de pessoas prejudicando desta forma a saída daqueles que se encontram dentro do edifício assim como a entrada dos meios de socorro. De acordo com o mesmo estudo os ocupantes do sexo masculino são os que mais reentram ao edifício para o combate do incêndio.

As motivações de reentrada no edifício visam essencialmente o combate ao fogo, a obtenção de propriedades pessoais, para observar o fogo, para alertar os restantes ocupantes, para auxiliar os meios de proteção e socorro e para recuperar animais de estimação.

Na presença de crianças o comportamento de reentrada é um comportamento frequentemente adotado pelos seus pais. A resposta comportamental do ocupante que, depois de sair do edifício em segurança e volta a entrar no edifício tem sido observado com maior frequência nos edifícios residenciais.

Ono e Valentin (2006) compilaram os dados do movimento de entrada do estudo de Bryan (1957), demonstrando que no comportamento de reentrada no edifício 63% dos ocupantes saem por portas distintas das que reentraram. O comportamento de reentrada pode não ser considerado como um comportamento não adaptativo quando visa a prevenção dos danos de incêndio e o auxílio à evacuação e é realizado de forma racional e deliberada, sem as características de ansiedade. No entanto, o comportamento de reentrada tem sido geralmente considerado como não adaptativo uma vez que afeta negativamente a saída eficaz de outras pessoas no edifício e a atuação dos meios de socorro.

De acordo com os estudos de Bryan (1977) os ocupantes que se envolvem no combate/extinção do incêndio são predominantemente do sexo masculino e adultos. No entanto, existem outras formas de envolvimento no incêndio, como por exemplo a chamada dos meios de socorro ou o auxílio de outros ocupantes na evacuação realizadas em grande número, também, pela população feminina e a faixa etária não é impedimento para o envolvimento. O envolvimento dos ocupantes no combate ao fogo deverá de ser propiciado não pelos meios dos bombeiros mas antes pela disponibilidade dos meios de atuação em situação de incêndio nos edifícios.

2.5. A influência do tempo de pré-movimento na evacuação de edifícios

A inclusão de tempos de pré-movimento no cálculo do tempo de evacuação aumenta a precisão dos cálculos de evacuação: inicialmente admitia-se que assim que os ocupantes percebiam os sinais de fogo ou o sinal de alarme iniciavam, no imediato, a evacuação. Contudo pela análise de diversos relatórios de incêndio concluiu-se que a resposta humana não é imediata face à percepção do incêndio e atualmente é prática a inclusão dos tempos de pré-movimento na estimativa do tempo de evacuação.

Para Chow e Candy (2008) a linha de tempo no processo de evacuação é desenhada pela Figura 2.2. O tempo de resposta (TR) indicado é o tempo necessário para iniciar efetivamente o movimento de saída para o exterior. A contagem desse movimento inicia-se quando os ocupantes agem identificando o caminho de evacuação, informando os outros, ajudando-os ou combatendo o fogo depois de o reconhecer (Pauls, 1986 e Sime, 1986).

Pela Figura 2.2 constata-se que o tempo de espera é um componente importante do tempo de evacuação total (TET) em espaços com um efetivo elevado pois os ocupantes de diferentes compartimentos convergem para a frente da saída sendo a velocidade de deslocamento reduzida pela obstrução do caminho por outros ocupantes, como explicou Fruin (1971).

Quando a capacidade das saídas são excedidas os ocupantes formam uma fila (organizada ou não), até que exista espaço para avançar: tal significa que a taxa de chegada é maior do que o taxa de fluxo máxima que a saída garante (Thompson e Marchant, 1995), iniciando-se a partir desse momento o período de espera. O conceito tempo de espera tem inerente o comportamento do ocupante e a sua capacidade de espera é implícita à eficácia da evacuação, como define Spearpoint (2004). O termo de "tempo de espera cumulativa" (ER) foi definido por Owen *et al.* (1996) como o tempo que os ocupantes têm de permanecer parados/à espera da resolução de problemas de obstrução de vias ou de congestionamentos.

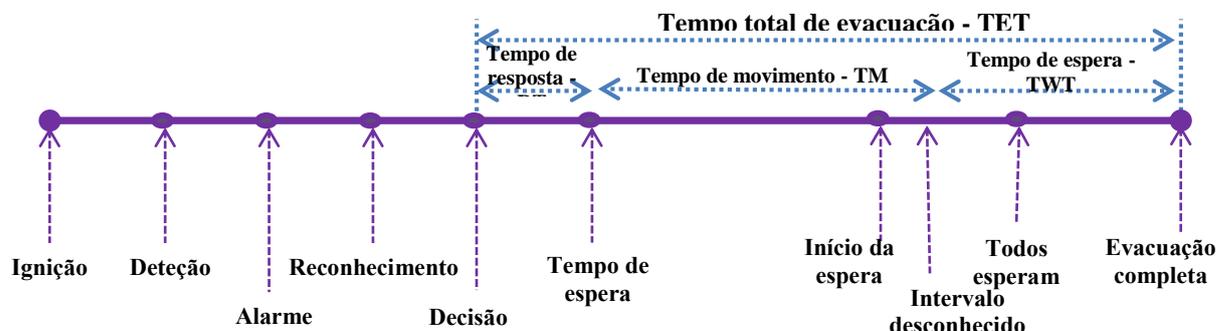


Figura 2.2 - Componentes do tempo de evacuação. (Fonte: Chow e Candy, 2008)

Proulx (2002) afirma que engenheiros de segurança de incêndio preveem tempos de pré-movimento entre 15 a 30 segundos, sem qualquer fundamentação teórica.

Vários autores realizaram estudos para o cálculo do tempo de pré-movimento recorrendo a exercícios de evacuação e/ou análise de vídeos de vigilância e/ou através de entrevistas técnicas a vítimas de incêndio (embora se reconheça a dificuldade que as vítimas possam ter na indicação de tempos), comparando resultados entre edifícios da mesma ocupação. Os autores identificaram variações significativas e dependentes do tipo de sinal de alarme e sua audibilidade.

Pauls (1986) realizou sete estudos realizados em edifícios residenciais e com pré-aviso de ocorrência da simulação, os tempos médios de evacuação dos edifícios em estudo foram de 2 minutos e 49 segundos para o pré-movimento para tempos totais de evacuação de 4 minutos (cerca de 3 minutos de movimento de atraso e somente 1 minuto para deslocamento para o exterior). O tempo máximo de pré-movimento foi de 5 minutos e 19 segundos numa simulação ocorrida no inverno no Canadá, o que exigiu vestir roupa adicional (casaco, botas, luvas e chapéu).

Relativamente à audibilidade do alerta, em dois dos edifícios estudados e com base nos questionários e observação do comportamento dos evacuados o tempo de pré-movimento daqueles em que o sinal de alarme não era tão audível e que somente se aperceberam do incêndio com a sirene dos meios de socorro ou após lhes baterem à porta os tempos de pré-movimento atingiram os 25 minutos (contados após 2 a 3 minutos do alerta), com o tempo médio de pré-movimento de 9 minutos.

No estudo não se estudou a variabilidade do tempo de evacuação com o horário de incêndio uma vez que nenhum foi realizado no período noturno (seis realizados de segunda a sexta às 19 horas e 30 minutos e um ao sábado às 11 horas) mas segundo o autor é provável que seja mais longo do que em períodos diurnos.

Brennan (1997 e 1998) estudou o comportamento dos ocupantes num incêndio decorrido durante a noite, num edifício residencial alto com sistema de alarme automático, recorrendo a entrevistas técnicas e estimou um tempo de pré-evacuação de 10 minutos.

Proulx (1998) estudou dois incêndios, também em edifícios altos residenciais, decorridos durante a noite e no inverno, em que num dos casos morreram seis pessoas encontradas em escadas de evacuação e outra encontrada no quarto do foco de incêndio. De acordo com as informações prestadas pelos ocupantes, no primeiro incêndio o alarme de incêndio não foi audível em muitos apartamentos (os ocupantes desses apartamentos foram avisados por outros ocupantes) e as vítimas estimaram o tempo de pré-movimento entre 10 minutos e 30 minutos.

No segundo o alarme foi audível em todo o incêndio (existiam difusores de alarme em todos os apartamentos e quartos do edifício, seguidos por sistemas de comunicação por voz que indicavam as instruções): os ocupantes estimaram o início do movimento em 5 minutos após receberem as instruções de segurança.

Em 2002 a mesma autora realizou exercícios idênticos em três escritórios (edifícios governamentais com obrigatoriedade de realização de um exercício de incêndio, pelo menos uma vez por ano, por este motivo não foi feito qualquer aviso de exercício).

O tempo médio de pré-movimento foi de 50 segundos, no entanto, saliente-se que todos os funcionários daquele edifício tinham recebido a formação e treino adequado sobre os procedimentos de emergência: durante o período de pré-movimento os funcionários procederam à gravação de dados nos seus computadores, proteção de arquivos e recolha dos bens pessoais e muitos tiveram de ser alertados para a necessidade de terem de evacuar.

Brennan (1997 e 1998) recorreu também a entrevistas técnicas aplicadas a vítimas de incêndio no terceiro piso de edifício alto de escritórios (catorze andares) em que o sistema de alarme nunca soou e que os ocupantes foram alertados pelo fumo que rapidamente se propagou. A autora estimou que o tempo médio para iniciar o movimento foi de 2 minutos e 30 segundos.

Shields et al. (1998) com recurso a exercícios de simulação num espaço comercial, sem pré-aviso de exercício concluíram que o tempo de pré-movimento foi, em média de 25 segundos, com um máximo de 55 segundos no espaço de loja e de 60 segundos nas casas de banho: durante este tempo fecharam-se as caixas de pagamento. Para estes tempos contribuiu a forma de alarme da equipa de segurança que “varreu” todo o espaço.

Proulx e Sime (1991) estudaram o pré-movimento num sistema de transportes subterrâneo, através do qual demonstraram a importância da forma de transmissão da informação de incêndio para curtos tempos de pré-movimento. Nenhum passageiro com o soar do alarme iniciou o movimento de fuga e continuaram a esperar pelo seu transporte, somente quando os elementos de segurança os avisaram ou quando o sistema de comunicação por voz foi ativado (informando o tipo de acidente, a sua localização e as instruções de segurança) os passageiros iniciaram o movimento de fuga. O tempo de pré-movimento após esta comunicação foi de 15 segundos.

Para Proulx (2002) estes estudos comprovam que o tempo de pré-movimento dependerá de diversos fatores: da informação disponível, da tipologia do alarme de incêndio (credibilidade do sistema de alarme) e da ambiguidade dos sinais de incêndio. Para a autora, o aviso por outros é a melhor forma de transmissão da necessidade de evacuação, seguida de um sistema de comunicação por voz.

Benthorn e Frantzich (1998) estudaram a evacuação num centro comercial com o objetivo de identificar os fatores que interferem na seleção do caminho de evacuação e a reação das pessoas. Da análise de resultados importa entender, como anteriormente referido, que o nível de cultura, as normas de construção e as exigências regulamentares em termos de segurança contra incêndio variam de país para país podendo tais variações induzir a alterações nos fluxos e tempos de evacuação dos edifícios.

Os autores concluíram também que a saída mais utilizada pelos ocupantes é a mais próxima, seguida da saída de uso diário (que os ocupantes estão mais familiarizados), não tendo sido possível analisar as diferenças entre a decisão de seleção da saída masculina e a feminina.

Da aplicação do questionário constatou-se que 83,6% dos ocupantes do centro comercial estavam acompanhados por uma ou mais pessoas. O primeiro comportamento após o alarme de incêndio dos ocupantes acompanhados diferiu dos não acompanhados: 51% dos evacuados com acompanhantes saiu da loja com o seu acompanhante dos quais 15% a primeira decisão foi de procurar o ocupante.

Xudong *et al.* (2008) apresentaram resultados obtidos num exercício de evacuação no centro comercial na China, com dois andares e cinco saídas de emergência (5715m²) e 385 ocupantes, em que todos os ocupantes foram previamente informados da ocorrência do exercício não tendo, contudo, conhecimento, da hora e cenário de incêndio: O tempo total de evacuação foi de 490 segundos

A análise dos resultados do exercício foi realizada com recurso às gravações da evacuação (com informação relativa ao tempo real de evacuação e número real de clientes existentes no centro comercial) e de um questionário realizado aos evacuados (com informações relativas às características dos clientes, tempo de alarme e pré-movimento e critérios de seleção do caminho de evacuação).

Os resultados do estudo demonstraram que o tempo de alarme e de pré-movimento são fundamentais no processo de evacuação e que a aposta na deteção e alarme precoces e no treino do pessoal das lojas constituem ferramentas essenciais para uma eficiente evacuação.

O estudo da evacuação em cenário de incêndio é desenvolvida, essencialmente, pela aplicação de cenários de evacuação em modelos de simulação computacionais e pela aplicação de questionários e entrevistas diretas a sobreviventes de incêndio recorrendo-se, poucas vezes, a exercícios de evacuação em edifícios. Como anteriormente referido, o tempo de pré-movimento varia em função do tipo de ocupação, das características dos ocupantes e dos sistemas de alarme instalados. Em escritórios os ocupantes respondem mais prontamente e estão melhor preparados do que em edifícios residenciais.

A possibilidade de observar os outros ocupantes em corredores de evacuação a partir do espaço onde nos encontramos é uma característica construtiva do edifício que poderia diminuir o tempo de pré-movimento por facilitar o acesso à informação, notificação e decisão dos ocupantes. Em edifícios residenciais os ocupantes encontram-se fechados em apartamentos/quartos *ao invés* de em escritórios, superfícies comerciais ou cinemas, em que o tempo de pré-movimento tende a ser menor.

Relativamente aos ocupantes dever-se-á analisar o estado de alerta dos ocupantes: em escritórios os ocupantes encontram-se vestidos, acordados e treinados. Em contraste com residências familiares ou edifícios com receção de público. E o tempo de pré-movimento tende a ser aumentado pela presença de crianças num grupo. A estas características deverão acrescentar-se as identificadas pelo Instituto de Normalização Britânico, na sua BS 7974 (2004) de cariz construtivo e inerentes à evacuação que deverão de ser consideradas na previsão do tempo de atraso para o início do movimento de evacuação (pré-movimento)

O sinal de alarme de incêndio é geralmente o sistema de aviso de base. Os ocupantes demorarão mais tempo a responder a este se não forem formados para o planeamento da emergência ou se a credibilidade do sistema de alarme do edifício for diminuta (p. ex. vários falsos alarmes). A utilização de um sistema de comunicação de voz direto com mensagens informativas é a melhor maneira de promover a rapidez na resposta. As mensagens pré-gravadas raramente são tão eficazes uma vez que não indicam com clareza e precisão as informações sobre o incêndio.

A audibilidade e adequabilidade dos meios de evacuação (sistema de alarme e instruções de emergência) deverá de se analisada para que todas as informações necessárias sejam transmitidas a todos os ocupantes. A comunicação de voz aliada a um circuito de segurança por vídeo poderia fornecer informações precisas aos ocupantes.

O layout de cada andar e do edifício, (organização das divisões) deverá propiciar a organização mental (desenhando mentalmente o percurso de saída) para a evacuação de forma a facilitar o acesso à informação de emergência/caminho de evacuação. A forma como o edifício foi projetado pode ou não proporcionar aos ocupantes o acesso visual dos outros ocupantes o que pode constituir uma importante fonte de informação para as pessoas e melhora a perceção dos sinais de incêndio bem como a localização da saída mais próxima. Em edifícios em que a atenção da maioria dos ocupantes está focada num espaço restrito (como um palco, écrans ou pista de dança) em situação de emergência a atividade exercida nesse ponto de atração deverá de ser interrompida e, sempre que possível, ser aí transmitida a informação de incêndio e respetivas instruções de segurança.

A credibilidade/eficiência do sinal de incêndio (frequência de alarme falso): um sinal de alarme, per si, raramente desencadeia um procedimento de evacuação, a menos que os ocupantes estejam devidamente treinados ou que informação adicional seja fornecida. No entanto, o alarme de incêndio é um meio para o alerta dos ocupantes e prepara-os para receção de informações complementares ou incentiva os ocupantes à procura de informações adicionais. O número de alarmes falsos é importante: estima-se que a existência de pelo menos três falsos alarmes em seis meses diminua significativamente a credibilidade do sistema de alarme de incêndio.

O treino dos ocupantes é essencial na rapidez da resposta e deve ser acompanhado de formação sobre os procedimentos de segurança específicos de cada edifício. Em edifícios que recebem público o treino de pessoas é mais difícil pelo que a equipa de segurança deverá de receber a formação necessária de forma a solicitar eficientemente o movimento dos ocupantes nestes edifícios, preferencialmente, auxiliados pelos funcionários do espaço. A familiaridade e o relacionamento social também interferem no tempo de pré-movimento: os ocupantes que estão familiarizados com a construção, que participaram em exercícios de evacuação, e estão cientes dos procedimentos de evacuação estão mais alerta para o início da evacuação. Os ocupantes dos edifícios tendem a criar grupos em função do relacionamento entre eles antes de iniciar a evacuação (p. ex. família), aumentando o tempo para o início do movimento de evacuação.

Quando as pessoas que estão envolvidas numa tarefa demorarão mais tempo a perceber o alarme (p. ex. restaurante e jogos de casino). Ao invés num cinema, por exemplo, quando o filme é interrompido e a iluminação de emergência ativada a atenção dos ocupantes é focada para a informação de emergência constante no ecrã. Quanto à prontidão e limitação: um incêndio num hotel ou num edifício residencial a meio da noite exige um maior tempo para início da evacuação porque a maioria dos ocupantes encontra-se a dormir. Outra dimensão desta característica é a possibilidade dos ocupantes terem limitações que aumentarão o tempo de resposta: é importante estimar o número de ocupantes com limitações passíveis de atrasarem o tempo de resposta.

A velocidade com que os ocupantes responderão ao alarme de incêndio ou outros sinais de incêndio dependente das suas competências e responsabilidades no edifício. Assim como a rapidez de interiorização da informação disponibilizada pela equipa de segurança.

A BS DD240 (1997) propõe tempos de pré-movimento dados em função do tipo de alarme e de ocupação do edifício, como descrito no Quadro 2.11.

Quadro 2.11 - Tempo de pré-movimento para iniciar a evacuação, em minutos, de acordo com a BS DD240 (1997). (Fonte: Proulx, 2002)

Tipo de ocupação	W1¹	W2²	W3³
Escritórios, edifícios comerciais e industriais, escolas, faculdades e universidades: os ocupantes estão acordados e familiarizados com o edifício, com o sistema de alarme e procedimento de evacuação.	< 60	180	> 240
Lojas, museus, centros de lazer, desporto e outros edifícios itinerantes: os ocupantes estão acordados mas podem não estar familiarizados com a construção, sistema de alarme e procedimento de evacuação.	< 120	180	> 360
Dormitórios e edifícios residenciais: os ocupantes podem estar a dormir mas estão maioritariamente familiarizados com a construção, sistema de alarme e procedimento de evacuação.	< 120	240	> 300
Hotéis e pensões: ocupantes podem estar a dormir e não estão familiarizados com a construção, sistema de alarme e procedimento de evacuação.	< 120	240	> 360
Hospitais e lares de idosos: um número significativo de ocupantes pode exigir assistência na evacuação.	< 180	300	> 480

1 Utilização de sistema de comunicação por voz em direto, a partir do centro de comando com existência de circuito fechado de televisão ou de comunicação aos ocupantes pelos elementos da equipa de segurança devidamente treinada e uniformizada que pode ser vista e ouvida por todos os ocupantes do edifício.

2 Instruções de segurança dadas por mensagem de voz gravada e/ou sinalética.

3 Sistema de alarme de incêndio dado por sirene e por pessoal sem formação adequada.

Horasann e Kilmartin (2012) apresentaram um conjunto de tempos de pré-movimento em edifícios comerciais, *vd* Quadro 2.12. O tempo médio das referências apresentadas é de 148 segundos.

Quadro 2.12 - Resumo dos tempos de pré-movimento da revisão bibliográfica para edifícios comerciais com sistemas de deteção e alarme e de gestão da segurança adequados. (Fonte: Horasann e Kilmartin, 2012)

Referência bibliográfica	Tempo de pré-movimento em segundos
<i>CIBSE Guide E: Fire Safety Engineering</i> , 1997.	60-240
<i>CIBSE Guide E: Fire Safety Engineering</i> , 2010.	180
Quincy Massachusetts, 2002 (3ª edição); Tubbs, J.S., Mitcham, B., <i>Egress Design Solutions</i> , John Wiley and Sons, 2007.	120-180
<i>Response and Coping Efficiency Scores Allocation Tables from Australian Fire Engineering Guidelines</i> , 1995 (1ª edição).	240-300
PD7974-6:2004.	120-180
C/VM2 Verification Method: New Zealand Building Code Clauses C1-C6 Protection from Fire, 2012	30-120
Arnhus A., 2012	60-90
As variações refletem a sistema de deteção e alarme de incêndio e a metodologia de gestão da segurança	

2.6. Considerações finais

O capítulo apresentou os principais fatores influenciadores do comportamento humano na evacuação em situação de incêndio demonstrando que o comportamento humano é principalmente influenciado pelas condições de localização e propagação do incêndio, forma de transmissão das informações sobre o incêndio aos ocupantes e as características físicas e socioculturais dos ocupantes e dos edifícios.

Os principais dados sobre evacuação disponíveis resultam da análise de incêndios reais e exercícios de evacuação em situação de incêndio por observação direta e análise de imagens e pela aplicação de entrevistas e questionários e também por testes em animais.

A imprevisibilidade do incêndio e do comportamento humano não deverá de ser impeditivo para a definição e garantia das condições de sobrevivência impondo limites de exposição e características das vias de evacuação aceitável e estratégias de evacuação adequadas, garantindo a evacuação segura de todos os ocupantes. Ainda que todos os ocupantes não tenham de ser, necessariamente, evacuados com recurso às mesmas estratégias mas todos têm de ter os conhecimentos necessários e disponíveis à evacuação segura.

As principais dificuldades das pessoas com mobilidade reduzida são ao nível da subida e descida de escadas, de pequenos degraus e na abertura de portas devendo para estes ocupantes serem incluídas formas de minimização das dificuldades e no cálculo do tempo de evacuação serem incluídos tempos de repouso. Outra preocupação é o movimento de pessoas com deficiências ao nível da visão e audição.

O comportamento de grupo deve ser considerado no processo de evacuação em duas vertentes distintas: na ótica do auxílio e cooperação e na de movimentação de grande número de pessoas: em qualquer espaço a densidade crítica é a igual ou superior a $8p/m^2$.

As novas estratégias de evacuação complementadas com as estratégias tradicionais de evacuação constituem importantes formas de evacuação alternativa. Apesar de continuarem a carecer de estudo, mais ao nível do comportamento humano do que das características técnicas dos equipamentos, constituem meios de excelência na evacuação de pessoas com necessidades especiais e de edifícios que recebem público.

O tempo de evacuação do edifício não inclui somente o tempo de movimento dos ocupantes em direção à saída. Engloba também um conjunto de componentes que, somadas, poderão atingir valores superiores ao tempo de movimento em direção à saída. Apesar de os tempos anteriores ao movimento de saída poderem ser de difícil estimativa é importante incluí-los no cálculo do tempo de evacuação do edifício, desde o tempo de deteção à decisão de abandonar o edifício e ao tempo de pré-movimento.

3. METODOLOGIAS PARA O CÁLCULO DO TEMPO DE EVACUAÇÃO

3.1. Estratégias de evacuação de edifícios

Em função da utilização do edifício e da sua altura no enquadramento do planeamento de emergência deverão selecionar-se uma ou mais estratégias de evacuação para o edifício, garantindo, sempre as condições de sobrevivência humana.

Qualquer estratégia de evacuação de um edifício com mais de um piso deverá, no mínimo, garantir a sequência representada na Figura 3.1, segundo Ono (2010):

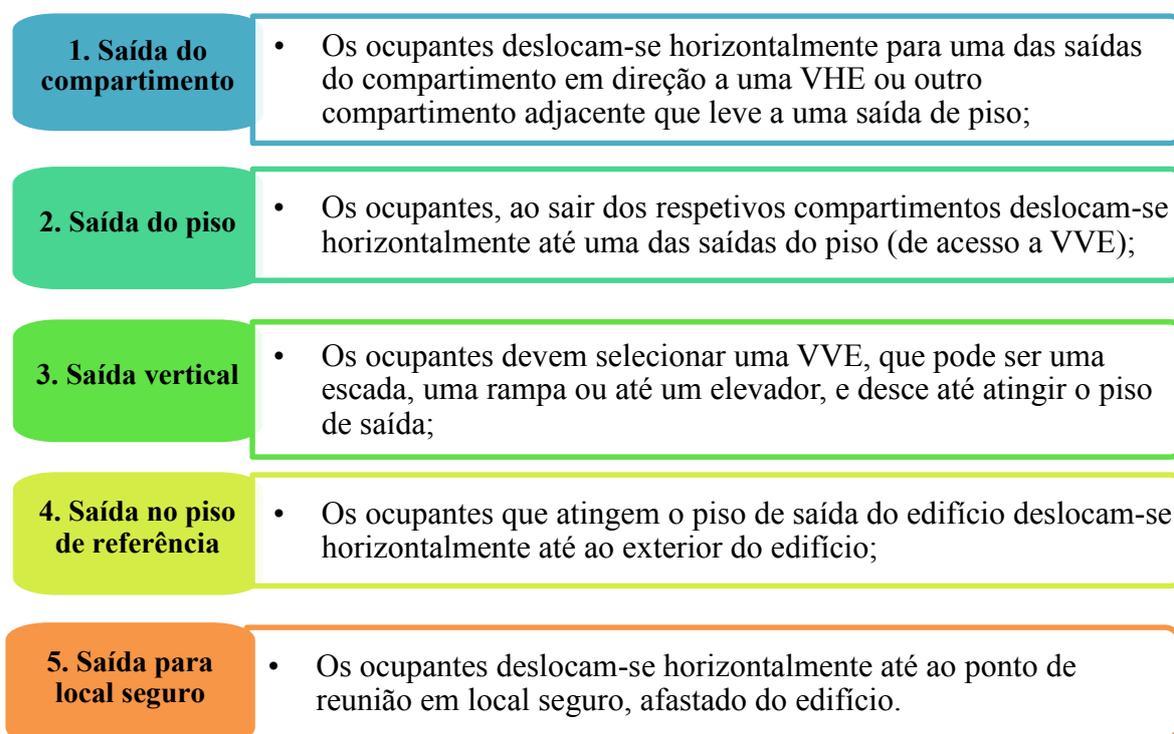


Figura 3.1 - Etapas a considerar na evacuação de edifícios. (Fonte: Ono, 2010)

Ono (2010) subdivide as estratégias de evacuação em estratégias tradicionais de evacuação e novas estratégias de evacuação.

3.1.1. Estratégias tradicionais de evacuação

As estratégias tradicionais de evacuação são as mais usadas sendo previstas nas exigências regulamentares de segurança contra incêndio. São subdivididas em três estratégias de evacuação distintas:

1. **Evacuação simultânea de todos os compartimentos do edifício** (adiante designado de “evacuação total e simultânea”): esta estratégia pode inviabilizar economicamente a construção de edifícios altos porque exige saídas de grandes dimensões a fim de garantir que todo o efetivo de todos os pisos seja evacuado, dentro de um tempo limitado.

Por outro lado, o dimensionamento viável das saídas de um edifício elevado resulta num tempo excessivo de evacuação que poderá comprometer a segurança dos ocupantes.

Nesta situação, os estudos de Pauls e Jones (1980) concluíram que os ocupantes mais prejudicados com esta técnica são os ocupantes do piso de origem do incêndio e dos imediatamente adjacentes uma vez que havendo ocupação intensa do interior das VVE por ocupantes dos outros pisos a entrada dos ocupantes dos pisos de maior risco é mais difícil.

No WTC em 2001 foram constatados vários casos de pessoas que obedeceram à ordem de aguardar, conforme determinava o procedimento de emergência contudo essa ordem para alguns nunca chegou, inerente aos problemas com a comunicação (Dwyer e Flynn, 2005).

A norma NFPA 101 define que a evacuação total do edifício ocorre quando todos ou a maioria substancial dos ocupantes deixa um edifício ou instalação de forma ordenada ou não.

2. **Evacuação por etapas (faseada) dos compartimentos do edifício ou de partes dele (“evacuação parcial”)**: para contornar o problema, sem inviabilizar a construção de edifícios altos tem-se adotado esta estratégia de evacuação.

A evacuação faseada garante a saída de todos os ocupantes dos pisos ao longo de um período de tempo mais alargado, dando prioridade aos ocupantes dos pisos de maior risco (o piso de incêndio e os adjacentes). Os restantes pisos apenas são evacuados caso se verifique essa necessidade.

Contudo, esta estratégia de evacuação é de complexa aplicabilidade porque exige a rápida localização do piso de incêndio e a atuação das equipas de emergência com vista a orientar a evacuação dos pisos de maior risco e alertar os ocupantes dos restantes pisos para a não evacuação até segunda ordem. A estratégia exige ainda a monitorização do incêndio avaliando a necessidade de evacuação de outros pisos.

A estratégia de evacuação pode ainda ser subdividida em evacuação (saída do edifício) e em realocação (movimento para uma área de relativa segurança dentro do edifício). Com base nesta estratégia outras metodologias idênticas foram propostas diferindo apenas a identificação dos pisos de risco, podendo variar de apenas o piso de incêndio e os dois adjacentes superiores e dois adjacentes inferiores ou apenas o piso de incêndio e um adjacente inferior e superior.

Os dois pisos adjacentes inferiores são evacuados essencialmente para disponibilizar espaço para o desenvolvimento das atividades de proteção e socorro, nomeadamente de combate ao incêndio.

A NFPA 101 define evacuação parcial como aquela em que uma parte de um edifício ou instalação é desocupada enquanto os ocupantes de outras partes desenvolvem as atividades normais, distinguindo três tipos de evacuação parcial: realocação no mesmo piso, realocação noutros pisos e evacuação dos ocupantes de alguns pisos para o exterior do edifício.

3. **Proteção no local:** tem inerente o conceito de proteção no local de incêndio anulando a necessidade de evacuação do próprio local.

A utilização da proteção no local é recomendada quando parte significativa do efetivo do edifício é composto por pessoas de mobilidade reduzida como unidades de saúde, lares e estabelecimentos prisionais.

Esta estratégia pode ser utilizada em locais de maior dificuldade de evacuação e complementada pela evacuação parcial.

3.1.2. Novas estratégias de evacuação

Inicialmente, a altura dos edifícios não exigia percorrer longos percursos de evacuação, de tal forma que inicialmente apenas se previa a construção de um conjunto de escadas. A invenção em 1854 do freio de segurança permitiu a utilização segura do elevador em edifícios de grande altura, facilitando a construção, manutenção e exploração de edifícios de grande altura, pela primeira vez em Chicago, em 1885.

Até 1935, tanto a NFPA como a *National Bureau of Standards* (NBS), atual *National Institute of Standards and Technology* (NIST), admitiam a possibilidade de utilização de elevadores para edifícios de grande altura (com altura superior a 25m).

Contudo a discussão sobre as dimensões dos elevadores e as suas formas de utilização ainda não eram claras “... os elevadores não estão sujeitos a uma única vontade, como no caso de um elevador com operador, mas às várias exigências dos ocupantes...”, contudo admitia-se que “...apesar das incertezas quanto ao uso de elevadores em situação de emergência, eles são úteis em edifícios altos...” (NIST, 1935).

Países como a Nova Zelândia, Austrália, EUA e Reino Unido incluíram indicações nos códigos de construção que consideram o uso de elevadores. No Reino Unido, a BS 5588-8:1999 define que os edifícios deverão ter, pelo menos, um caminho de evacuação para pessoas com deficiência, permitindo, que os elevadores sejam utilizados por essas pessoas para deslocamento para zonas de refúgio, até à chegada dos meios de socorro, exigindo-se, a tais elevadores, condições específicas de estanquidade e resistência ao fogo. Hong Kong, China e Japão, utilizam metodologias baseadas em métodos britânicos, embora com abordagens mais prescritivas (Ono, 2010).

O reconhecimento da necessidade de investimento em novas soluções de evacuação iniciou-se no pós-WTC, de 2001. De entre as diversas iniciativas de destacar o “*Workshop on Building Occupant Movement During Fire Emergencies*” organizado pelo NIST e o “*Workshop on Use of Elevators in Fire and Other Emergencies*” organizado pelo ASME ambos no ano de 2004 nos EUA. Nos EUA, o relatório final do NIST (2005) sobre a investigação ao WTC emite recomendações de melhoramento das exigências regulamentares, das normas técnicas e dos procedimentos de emergência em edifícios altos.

Na edição de 2009, o Código Internacional de Construção, NFPA 101 e NFPA 5000 exigem a existência de elevadores de serviço de incêndio em todos os novos edifícios, com altura superior a 37 metros de altura (Ono, 2010). Este código autoriza ainda a redução da capacidade de saída das vias verticais de evacuação em 50% em edifícios que preveem o uso de elevadores por pelo menos 50% da população dos pisos que os elevadores de emergência servem. Estes elevadores devem ter acesso direto a uma zona de refúgio ao nível do piso de referência, com uma área que permita acomodar, pelo menos, 25% dos ocupantes. Obriga, ainda, a que os elevadores estejam devidamente avisados, com mensagens do tipo: “*Elevadores disponíveis para evacuação dos ocupantes*”.

Tal como Portugal no seu Artigo 15.º do Regulamento Jurídico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios, Decreto-Lei n.º 220/2008 de 12 de Novembro, também o Brasil, a Espanha e a Nova Zelândia permitem a utilização de elevadores, recorrendo a metodologias devidamente justificadas e baseadas no desempenho.

Bukowski (2008) e Pauls (2005) justificaram a introdução de novas estratégias de evacuação de edifícios com o aumento da altura dos edifícios ao longo dos anos e conseqüente aumento do efetivo do edifício, a transformação do perfil populacional da população: cada vez mais obesa (maior e mais pesada) e com maior idade (com menos resistência física) afetando a mobilidade das pessoas, principalmente em escadas, com a evacuação de pessoas com deficiência garantindo as condições de sobrevivência de todos os ocupantes e com o desenvolvimento tecnológico apoiado pelas inovações tecnológicas que auxiliam no desenvolvimento de mais eficientes soluções de evacuação.

A seguir, são apresentadas, alguns exemplos de estratégias de evacuação alternativas ou complementares à evacuação tradicional de edifícios.

3.1.2.1. Elevadores

Alguns edifícios no mundo foram projetados para utilização de elevadores em situação de emergência nomeadamente o *Stratosphere Tower* em Las Vegas que utiliza os elevadores como principal meio de saída para os ocupantes com onze zonas de refúgio na torre de 250 metros. Tem, também, uma escada de saída de emergência, contudo, face às suas dimensões, a utilização desta escada para pisos mais elevados é considerada impraticável para uma evacuação atempada.

O edifício dispõe de dois pisos de refúgio, um no piso 11 e outro na parte superior da torre. Os ocupantes dos pisos superiores são esperados por elevadores que os desloca até ao nível do plano de referência e o número de ocupantes na torre é limitado ao número que pode ser evacuado pelo elevador numa hora, como esquematizado na Figura 3.2.

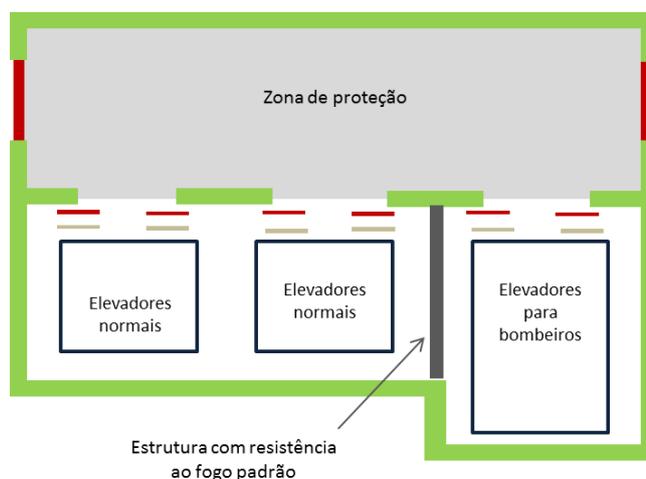


Figura 3.2 - Dispositivos móveis de evacuação. (Fonte: Bukowski, 2005)

O *Eureka Tower*, em Melbourne é um edifício com 88 andares de

apartamentos em que a estratégia de evacuação também permite o uso de elevadores para a evacuação (Kuligowski, 2003). A torre é dividida em zonas de evacuação vertical. Os ocupantes são obrigados a usar as escadas até aos pisos inferiores (número 24 ou 52), onde se encontram os elevadores de emergência que direcionam os ocupantes até ao piso de referência. Os elevadores estão localizados em eixos separados de forma a minimizar a probabilidade de propagação de fumos, causados por possíveis meios de extinção, como o uso de *sprinklers*.

O *Shanghai World Financial Centre* é um edifício de escritórios com 492m de altura que utiliza elevadores diários para evacuar os ocupantes dos pisos superiores para o andar térreo. Os elevadores de emergência somente funcionam entre o piso térreo e a cobertura do edifício para onde os restantes elevadores deslocam as pessoas em situação de emergência. Também, neste tipo de construção, os elevadores garantem as necessárias condições de isolamento e proteção ao fogo. O edifício é também equipado com vias verticais de evacuação, assumindo-se que os elevadores funcionam como rotas alternativas de evacuação e não em substituição das vias verticais de evacuação.

Depois de uma ameaça de bomba nas *Torres Petronas* na Malásia em que o tempo de evacuação demorou várias horas foram incorporados elevadores de evacuação para os respetivos pisos da cobertura incorporando-os como vias de evacuação reduzindo o tempo de evacuação para meia hora. Apesar de não dimensionados para efeitos de evacuação alguns elevadores, em situações de emergência foram utilizados na evacuação.

O uso de elevadores em situação de incêndio em edifícios onde os ocupantes foram treinados para não usá-los sugere que há uma parcela da população que encara o elevador como uma alternativa à evacuação: essa percentagem é suscetível de aumentar com formação específica (Proulx, 2004). Um incêndio na administração do *Chicago Cook County*, edifício com 36 andares, a 17 de Outubro de 2003 causou a morte a seis pessoas e ferimentos em outras doze. O fogo começou aproximadamente às cinco da tarde de sexta-feira, quando a maioria dos funcionários tinha deixado o edifício: apenas cerca de 250 pessoas permaneciam no edifício.

Uma investigação sobre o comportamento dos ocupantes evacuados durante o incêndio realizada pelo *National Research Council* do Canada por Proulx *et al.* (2004) indica que um grande número de pessoas usaram os elevadores para evacuar o prédio naquela situação, ainda que, o alarme geral de incêndio tenha sido em comunicação de voz, instruindo os ocupantes do edifício para usar as escadas para evacuar. 51% dos ocupantes que estavam no edifício tentou usar os elevadores para evacuar o prédio, ignorando os sinais de não utilização do elevador assim como a mensagem de voz emitida. O número de pessoas que tentaram utilizar os elevadores é influenciado pela altura a que se encontram: 62% dos ocupantes localizados nos pisos superiores, 55% dos ocupantes dos andares intermédios e 38% dos ocupantes nos pisos inferiores tentou usar os elevadores para evacuar. *A posteriori* os ocupantes do edifício foram convidados a descrever o procedimento geral de evacuação que conheciam, de 420 ocupantes: 13,3% mencionaram que foram formados para a não utilização de elevadores em situação de emergência, 75,2% mencionaram que o procedimento de emergência a utilizar deveriam ser as escadas e, somente 0,5% (2 entrevistados) mencionou que o procedimento de emergência deverá incluir o uso de elevadores. Tais resultados sugerem que a maioria dos ocupantes estavam cientes de que o procedimento de emergência não incluía o uso de elevadores.

Proulx et al. sugerem que o uso de elevadores neste incêndio foi afetado pelo momento em que soou o alarme: um grande número de ocupantes estava prestes, ou mesmo, a sair do posto de trabalho, abandonando o edifício e esses ocupantes foram significativamente mais propensos a usar os elevadores do que os restantes. Sabe-se que as escadas continham uma quantidade significativa de fumo, contudo, no seu estudo, *Proulx et al.* não conseguiram determinar se tal influenciou na decisão de os ocupantes utilizarem o elevador.

Durante o ataque terrorista ao WTC₂ de 2001, os ocupantes iniciaram a evacuação antes do segundo avião atingir a torre, apesar dos anúncios de voz de que não era necessário fazê-lo e alguns elevadores foram utilizados para o efeito. Alguns ocupantes foram bem-sucedidos, enquanto outros morreram carbonizados e presos no elevador.

16% dos ocupantes sobreviventes do WTC₂ usou o elevador para, pelo menos uma parte de seu processo de evacuação, 12% dos sobreviventes de pisos até ao 44, 15% dos sobreviventes dos pisos 45 a 73 e 33% dos sobreviventes de andares superiores ao 74 (Averill *et al.*, 2005).

Antes do segundo avião embater um grande número de ocupantes informou estar à espera de elevadores no piso 78 do WTC₂. Alguns relatórios sugerem que cada movimento de elevadores excedia a sua capacidade assim como as zonas de espera (Blake *et al.*, 2004).

Blake *et al.* concluíram que as razões para o uso do elevador foram múltiplas, desde razões médicas, a calçado inadequado e, inclusive o designado “*instinto de sobrevivência*”:

A 28 de Outubro de 1996, o *Hiroshima Motomachi High Rise*, um complexo de 20 pisos de apartamentos habitacionais com quase metade dos seus ocupantes no seu interior foi incendiado, em Hiroshima, Japão. O incêndio começou num apartamento do 9 ° andar do edifício, e devido à rápida propagação das chamas pelas varandas, o incêndio rapidamente se propagou até ao 20.º andar (em menos de 30 minutos).

Um estudo sobre o comportamento dos ocupantes do edifício foi realizado pela *Japan Association for Fire Science and Engineering* (JAFSE) concluiu que 47% dos entrevistados do prédio usaram os elevadores como rota de evacuação e 7% dos ocupantes usaram alternadamente as escadas e os elevadores. Mais uma vez foi notório que à medida que a distância ao plano de referência aumenta maior é a tendência para os ocupantes utilizarem os elevadores.

As motivações de utilização dos elevadores derivam de questões de rotina, segurança, rapidez, distância, ausência de fumo, excesso de ocupantes nas restantes vias de evacuação, razões médicas ou indicação dos próprios bombeiros. Na análise das respostas importa reter que 72% dos inquiridos tinham mais de 60 anos, o que poderá ter influenciado os resultados tanto pela idade como pela mobilidade dos ocupantes.

Olley e Freed (2008) afirmam que o uso de elevadores para evacuar representa cerca de metade dos ocupantes de edifícios altos: esta afirmação é baseada nos resultados de exercícios de simulação em edifícios de escritórios em Londres.

Com a falta de dados sobre a proporção de população com apetência para utilização do elevador em vez das escadas, onde ambos estão disponíveis em caso de emergência, tem-se recorrido a modelos de simulação de forma a conhecer-se a alteração de fluxos decorrentes do uso de elevador em situação de emergência.

Em alguns modelos de evacuação o efeito da variação das percentagens dos ocupantes que usam o elevador ou a escada varia com a altura dos edifícios. No entanto, o mais usual é que o uso das duas vias de evacuação sejam dividido de modo que 50% dos ocupantes do edifício usem elevadores e 50% usam as escadas (Siikonen e Hakonen, 2003).

Outra abordagem utilizada é a utilização de estatísticas de capacidade de mobilidade: MacLennan *et al.* (2008) que definem que 30% da população utiliza o elevador supondo que os restantes utilizam as escadas.

Depois de definidas as proporções de população a evacuar por escada e elevador, é aconselhado realizar ensaios de sensibilidade com 100% da população a usar escadas e 100% da população usando os elevadores, determinando assim, em termos teóricos, a eficácia das proporções inicialmente adotadas.

As decisões que os ocupantes tomam são pensadas em situação de pressão, tendem a não ser previstas, têm um tempo muito limitado para serem tomadas e normalmente há falta de informações confiáveis sobre a situação e o potencial de uma decisão inadequada pode ter graves consequências (Proulx, 1993).

Proulx explica que, quando os indivíduos estão sob pressão, os níveis de adrenalina aumentam, influenciado diretamente o modo como as pessoas “planeiam” a sua rota de fuga e reduzindo a atenção do indivíduo para a sinalética e informações existentes no edifício, consequentemente a capacidade de decidir corretamente pela melhor solução diminui.

Explica, também, que sob pressão de tempo, quando os indivíduos têm de efetuar uma escolha, estes são mais propensos a analisar os fatores desfavoráveis de cada opção existente: nestas situações, eles tendem a escolher o que consideram ser a opção menos arriscada. Tal direciona o estudo para duas hipóteses distintas face à existência quer de elevadores quer de escadas para evacuação: a utilização do elevador por parte dos ocupantes por esta lhe ser mais familiar ou a utilização das escadas verticais de evacuação por serem mais seguras e terem sido concebidas para efeitos de evacuação.

Em situação de emergência, os ocupantes deslocam-se para junto das saídas que utilizam no quotidiano resistindo ao uso de saídas de emergência podendo decidir por saídas que não possuem as condições necessárias para a garantia da segurança dos ocupantes (Sime, 1984).

Ozel (2001) sugere que a avaliação do risco de cada indivíduo difere de acordo com os seus conhecimentos do edifício, considerando que os caminhos que conhece contribuem para um menor risco, desprezando as condições de proteção e segurança que cada caminho oferece: uma saída desconhecida tem o risco adicional dos ocupantes se desorientarem no espaço ou de se encontrarem bloqueadas. Este fator sugere, ainda, que os elevadores a utilizar em situação de emergência deverão ser os utilizados diariamente pelos utilizadores do edifício.

A familiaridade das saídas de emergência contribui para o uso de elevadores em situação de emergência especialmente nos pisos mais elevados pois a probabilidade de os indivíduos utilizarem o elevador diariamente é maior.

A maioria dos elevadores em edifícios (inclusive de Portugal) é munida de sinalética que adverte para o não uso de elevadores em situação de incêndio ao mesmo tempo que o público tem sido formado e sensibilizado para a não utilização de elevadores em situação de incêndio incentivando ao uso de circulações verticais e horizontais de evacuação.

De acordo com Zmud (2007), a formação tende a influenciar a perceção das pessoas sobre a rota a adotar, mesmo num edifício em que os elevadores também são destinados à evacuação. Demonstrou, ainda, que a maioria dos ocupantes de um edifício comercial, com formação específica para utilização de elevadores, continuavam a afirmar que nunca seria seguro usar um elevador durante uma emergência (80%). No entanto um número significativo de ocupantes acredita que, em alguns casos, pode ser seguro, 16% dos ocupantes do edifício acredita que era raramente seguro usar um elevador, e 3% dos ocupantes do edifício acredita que normalmente era seguro usar um elevador para evacuar em situação de incêndio.

Groner e Levin (1992) num estudo sobre torres de controlo de tráfego aéreo não preparadas para utilização de elevadores para evacuação concluíram que um ocupante de um edifício de média altura está *...ciente que não deve usar o elevador se houver um incêndio....* No entanto, consideraram que este procedimento é superável com um programa de educação sobre o uso de elevadores na evacuação.

Pauls *et al.* (2007) advertem para a probabilidade de nuns edifícios ser permitido o uso de elevadores e noutros não gerarem algumas confusões, pelo que a sinalética é fundamental, especialmente em edifícios que recebem público.

MacLennan *et al.* (2008) demonstram que uma percentagem significativa de população, compreendendo principalmente idosos, pessoas de mobilidade reduzida e obesos não consegue descer mais de 135 metros sem descansar (equivalente a 15 andares).

Com base noutros estudos e, variando, com o tipo de atividade do edifício, assume-se que o número de andares a percorrer, sem descansar, deverá estar compreendido entre os 15 e os 20 andares, ainda assim algumas pessoas terão dificuldades em deslocar-se pelas escadas. O que pode significar que acima desse nível, deverão existir elevadores a utilizar em situação de emergência, pelo menos, para essas pessoas.

A hipótese é que as decisões dos ocupantes sobre a possibilidade de decidir pelo elevador ou pela escada possa ser parcialmente determinada pela sua perceção do tempo provável que levará a evacuar por cada meio. Contudo, é necessário que os utilizadores do edifício tenham utilizado ambos os meios de evacuação para poderem avaliar adequadamente as alternativas. De forma a constatar este fator Zmud (2007) com base num questionário que elaborou e aplicou num edifício comercial após um exercício de simulação constatou que 38% dos ocupantes tinha a noção do tempo de evacuação, 34% considerou o tempo de evacuação superior ao esperado, 8% inferior e 20% da população nunca tinha utilizado as escadas.

O cálculo do tempo de evacuação em edifícios com elevadores deverá considerar o tempo que as pessoas têm de esperar pela chegada do elevador ao respetivo piso. A hipótese é que o tempo de espera para um elevador deva ser julgado em relação ao tempo que os ocupantes terão que esperar no quotidiano.

Em termos arquitetónicos é aceitável que o tempo de espera que os ocupantes são obrigados a esperar por um elevador em edifícios em condições normais seja determinado pelo custo do tempo perdido na espera do elevador. Como tal, o tempo de espera aceitável num edifício residencial é maior do que num escritório. Os elevadores são projetados para lidar com os horários de pico no início do horário de trabalho, na hora do almoço, e no final do dia de trabalho. Estas regras não podem ser consideradas em elevadores de evacuação. Verifica-se um consenso geral de que o tempo aceitável de espera em situação de incêndio é entre 2 e 8 minutos, que é significativamente menor do que o tempo de espera possível tecnicamente (varia entre 10 e 30 minutos), calculado através de modelação de edifícios com elevadores específicos para a evacuação (Groner e Levin, 1992).

Groner e Levin sugerem que zonas de refúgio dos edifícios deverão permitir que os ocupantes sejam mantidos informados sobre os pontos de situação de incêndio de modo a ser mantido um nível de ansiedade tolerável.

A sensação de controlo, ou seja a capacidade de influenciar no processo de evacuação é um fator que influencia as decisões das pessoas na decisão de usar os elevadores ou as escadas. Groner e Levin (1992) afirmam que ocupantes do edifício que usam as escadas terão uma maior sensação de controlo pessoal que os ocupantes que usam os elevadores para evacuar.

O comportamento competitivo entre uma multidão em situação de emergência ocorre quando há limitações de espaço (circulações horizontais e verticais e vãos de saída de emergência), grande número de pessoas, falta generalizada de conhecimento dos caminhos de saída disponíveis, ausência de plano de emergência e/ou formação e treino, percepção generalizada de graves consequências face ao fracasso da evacuação e da limitação de tempo, utilização de caminhos diários por todos os ocupantes, incapacidade dos líderes em comunicarem com os indivíduos e de assumirem o comando, diminuição da independência do movimento individual e ausência de iluminação.

Considera-se que o comportamento competitivo para os ocupantes dos elevadores em situação de emergência é improvável de acontecer uma vez que as saídas alternativas estarão disponíveis. O mesmo autor verificou, ainda, que quando os ocupantes estão com colegas ou amigos, a interação social torna a competição entre ocupantes do edifício pouco provável, tornando-os cooperativos e solidários.

No WTC um grande número de ocupantes reuniu-se no átrio do piso 78 para entrar no elevador: a ânsia era tanta que houve situações de conflito e seleção de pessoas a evacuar através do elevador. Contudo, Dwyer e Flynn (2005) afirmam que nesta situação as pessoas teriam a percepção das graves consequências face à não evacuação.

Groner (2005) prevê que a maioria das pessoas aceita a diminuição da sua segurança pessoal desde que as condições de sobrevivência se mantenham adequadas, como tal é expectável que os ocupantes aguardem pela sua vez.

Os riscos associados ao uso das escadas incluem perigos associados à fadiga ou queda, alguns ocupantes podem estar, inclusive, perante o risco de crises de asma ou coração (*So et al.*, 2003).

Os riscos associados aos elevadores incluem a energia relativa ao incêndio, a entrada no andar de propagação do incêndio, o fumo que poderá impedir o fecho das portas do elevador uma vez que contribui para que o feixe de luz destinado ao fecho das portas não seja detetado, danificação dos sistemas de segurança pela água dos *sprinklers* ou outros meios de intervenção, todavia, estes riscos podem ser minimizados pelo uso de tecnologias adequadas (Bukowski, 2005).

Apresentam-se, de seguida, alguns fatores que poderão influenciar o comportamento humano face a um incêndio, agrupados em três categorias: características individuais, organizacionais e cenário de incêndio:

- **Quanto às diferenças individuais** a experiência anterior em incêndios ou percepção através de formação, as experiências anteriores com elevadores e percepção da sua eficiência, o nível de aptidão ou limitações de mobilidade e vestuário/calçado, a função desempenhada no edifício e/ou na gestão de emergência, a familiaridade com as saídas disponíveis e as características de personalidade onde se inclui o nível individual de controlo de risco;
- **Quanto às características organizacionais** a formação e treino dos ocupantes sobre a estratégia de evacuação do edifício, a compreensão dos sistemas de segurança contra incêndio que inclui os sistemas que protegem as escadas e os elevadores, a compreensão da sequência de programação de elevadores utilizados para a evacuação, a altura do edifício e o piso onde se encontra o ocupante e o elevador e o modo de funcionamento (eficaz ou pouco eficaz) dos elevadores no quotidiano e,
- **No que se refere ao cenário de incêndio** a informação que os ocupantes possuem sobre o cenário de incêndio incluindo a localização e respetiva gravidade, a visibilidade dos ocupantes do cenário de incêndio e condições de visibilidade para evacuação, as informações ou instruções fornecidas e a forma como são transmitidas ao ocupante e a influência que o comportamento dos outros tem sobre o comportamento do indivíduo e o fluxo de evacuação das vias de evacuação.

Apesar de existirem algumas tendências do uso de elevadores em situação de emergência ainda não são claras algumas questões que a seguir se apresentam: como é que a educação, ao longo de mais de 30 anos, que alertou o público contra o uso de elevadores para a evacuação pode ser alterada? (Kuligowski, 2003 e Kuligowski e Bukowski, 2004), como evitar a superlotação dos elevadores? (Bukowski, 2005 e Kuligowski, 2003), como convencer os ocupantes a utilizar um método de evacuação em detrimento de outro? (Bukowski, 2005), como os ocupantes reagem à exigência de esperar algum tempo por elevadores? (Klote, 2003 e Kuligowski e Bukowski, 2004), deverá existir uma ordem de prioridades de evacuação? Se sim que grupos sociais têm mais prioridade? Qual o grau de prioridade que as pessoas com deficiência deverão ter face à restante população? (Kuligowski, 2003 e Kuligowski e Bukowski, 2004), o elevador pode esperar por indivíduos mais lentos na evacuação? (Groner e Levin, 1992) e Como superar os possíveis problemas de confusão e ansiedade? (Pauls *et al.*, 2007).

3.1.2.2. Pisos de refúgio

A instalação de pisos de refúgio exige a instalação de máquinas intermediárias de equipamentos de apoio ao edifício (como elevadores, ar-condicionado e bombas de água fria) para estabelecer os pisos de refúgio a cada 20, 25 ou 30 pisos.

Conceitualmente faz parte da estratégia de abandono parcial com realocação dos ocupantes em pisos protegidos do incêndio. O objetivo é proporcionar aos ocupantes uma área de refúgio para descanso temporário no caminho descendente ou para as pessoas com deficiência aguardarem. Como referido anteriormente podem ser utilizados como complemento à utilização de elevadores.

3.1.2.3. Pontes (sky-bridges)

A adoção de pontes de interligação entre torres como parte da estratégia de evacuação proporciona uma alternativa apresentada por Pauls (2005) e Oldfield (2005). No entanto, Bukowski (2008) relembra os problemas enfrentados na utilização da ponte de interligação do Petronas Towers, em Kuala Lumpur, Malásia, numa evacuação real provocada por uma ameaça de bomba, em 2001, quando a ponte ficou congestionada com pessoas tentando passar de uma torre para outra nas duas direções.

Desta forma, as pontes podem ser interessantes meios de circulação horizontal entre torres elevadas e serem consideradas rotas alternativas de fuga oferecendo um recurso aos caminhos de evacuação quando devidamente incorporadas na gestão da emergência incluindo a proteção das pontes, a formação dos ocupantes do edifício, a forma de alerta do incêndio e a monitorização de utilização deste meio, como alerta Ono (2010).

3.1.2.4. Maior número ou largura de escadas

Bukowski (2008), Pauls (2005) e o NIST (2005) analisaram, também, a necessidade de rever os critérios atuais do dimensionamento dos caminhos de evacuação, uma vez que permanecem quase inalterados, desde o início dos estudos de evacuação concluindo que o aumento do número mínimo de escadas aumenta a redundância no sistema, que é uma das propostas.

O aumento do número de VVE tem inerente o aumento do fluxo de pessoas: com mais uma caixa de escadas na evacuação total de emergência sem incêndio a proposta proporcionaria melhores condições mesmo com uma das caixas de escada completamente comprometida, ou seja, sem condições de uso em situação de incêndio.

A segunda proposta é aumentar a largura mínima das VVE considerando o aumento médio nas dimensões antropométricas do homem (norte-americano). Estas propostas apresentam resistência de vários grupos e entidades norte-americanas que consideram exagerada e com um custo adicional significativo com a diminuição da área útil nos pisos de edifícios altos.

No entanto, nos EUA, o *International Code Council* (ICC) aprovou, em 2008 a inclusão de uma escada adicional para edifícios acima de 126m assim como um aumento de 50% na largura das escadas em edifícios novos, com base num relatório do NIST datado de 2005.

3.1.2.5. Dispositivos móveis

Os dispositivos móveis de evacuação têm sido desenvolvidos, nos últimos trinta anos, no sentido de reforçar a segurança dos ocupantes em edifícios existentes.

Os dispositivos são adotados em edificações onde a capacidade das VVE é limitada para possibilitar a intervenção dos meios de proteção e socorro e a evacuação de pessoas com mobilidade reduzida. E quando não é possível ou viável a instalação de saídas de emergência alternativas propondo sistemas de evacuação externa de edifícios.

Alguns destes sistemas são utilizados também pelos meios de proteção e socorro para o atingimento de andares superiores, uma vantagem que reduz significativamente o tempo necessário para atingir e controlar o incêndio.

Shimshoni (2005) apresenta a aplicabilidade de alguns dispositivos móveis para edifícios elevados dentre os quais as plataformas (*platform devices*), os dispositivos de descida controlada (*controlled descent devices*) e os escorregadores (*chute devices*), respetivamente demonstrados na Figura 3.3.

As maiores desvantagens de utilização deste tipo de dispositivos são a sua diminuta capacidade, as dificuldades em garantir suas condições de uso e a sua manutenção (baixa fiabilidade).



Figura 3.3 - Dispositivos móveis de evacuação. (Fonte: Shimshoni,2005)

3.3. Princípios gerais da evacuação de edifícios

Um dos princípios básicos da segurança contra incêndio em edifícios é a garantia da segurança dos ocupantes. Para tal é necessário identificar e avaliar o risco de incêndio inclusive as características físicas do edifício e dos seus ocupantes e determinando o nível admissível de exposição ao risco de incêndio.

A responsabilidade pela segurança é, *per si*, uma responsabilidade partilhada: dos ocupantes, do proprietário, dos projetistas do edifício e do Estado, sendo o último a definir exigências regulamentares com base em limites de exposição. A legislação define critérios mínimos de segurança (de distância e de tempo).

A caracterização do movimento de pessoas baseia-se em três conceitos essenciais:

- **Densidade (D):** é a medida do número de pessoas por unidade de área útil de um compartimento. É expressa, na maioria das situações em pessoa por área, normalmente pessoa por metro quadrado (p/m^2), embora surja na literatura por vezes como o seu inverso, área por pessoa.

A densidade varia principalmente em função da largura das vias de evacuação, a sua alteração ao longo da rota é analisada em pontos de variação de fluxo/pontos de transição.

A menos que exista informação sobre a dispersão de ocupantes num caminho de evacuação a densidade no primeiro elemento de saída de um compartimento é a utilizada na via de evacuação seguinte.

- **Velocidade (V):** representa o espaço percorrido pelo ocupante por unidade de tempo. É expressa em metros por segundo (m/s).

A velocidade de deslocamento das pessoas é dependente da densidade na via de evacuação. Quando as pessoas são consideradas individualmente é fortemente dependente das características do indivíduo (p. ex. físicas, culturais, de idade) e também do cenário de incêndio.

Os estudos de Fruin (1971), Predtechenskii e Milinskii (1978) e Pauls (1980) comprovam que a maior influência na velocidade de deslocamento é a densidade de pessoas: quanto menor a concentração de pessoas (p/m^2) maior a prevalência da velocidade individual de deslocamento e quanto maior a concentração de pessoas maior a prevalência da velocidade do grupo, o indivíduo perde a liberdade de movimentos o que o condiciona em atingir a velocidade desejada.

- **Fluxo:** o fluxo subdivide-se em dois:
 - Fluxo específico (F_e): corresponde ao fluxo de pessoas que passam numa determinada seção por unidade de tempo e por unidade de largura eficaz. É expresso em pessoas por segundo e por metro de largura eficaz (p/s.m);
 - Fluxo total (F_T): traduz o número de pessoas que passam numa determinada seção por unidade de tempo (p/s), equação (3.1):

$$F_e = D \cdot V \quad (3.1)$$

Considerando a largura do caminho de evacuação (L), a relação entre fluxo específico e fluxo total é dada pela equação (3.2):

$$F_T = F_e \cdot L \quad (3.2)$$

O fluxo é função da densidade e da velocidade, existindo diversas expressões determinadas por diferentes autores, que são apresentadas no capítulo. Realça-se que os valores obtidos na maioria dos estudos de velocidade e fluxo de pessoas resultam da observação direta em exercícios reais (em ambientes livres de fumo) e em condições não padronizadas: os investigadores alertam, por isso, para a importância do testemunho de sobreviventes de incêndios reais, ainda que seja de difícil obtenção.

Coelho (2010) define que o cálculo do tempo de evacuação em edifícios é o somatório de movimentos distintos até ao local seguro, sendo os dois últimos os que mais influenciam o tempo de evacuação: movimento em percursos horizontais, como compartimentos e corredores, movimento descendente em rampas, movimento em vias verticais (escadas) e movimento em pontos de transição (passagem de portas e pontos de convergência e divergência de fluxos).

3.4. Movimento em vias horizontais de emergência

Autores como Togawa (1955), Nakamura e Yoshioka (1975), Predtechenskii (1978), Fruin (1987) e Nelson e Mowrer (2002) apresentaram expressões matemáticas que propõem relações entre a velocidade e a densidade de pessoas, assim como entre o fluxo específico e a densidade para o movimento em vias horizontais, apresentados no Quadro 3.1, equações (3.3) a (3.12), onde D representa a densidade expressa em p/m² e V , V_N e V_E a velocidade, velocidade em situação normal e em situação de emergência respetivamente expressas em m/s.

Dos autores mencionados apenas Predtechenskii e Milinskii (1978) apresentam uma equação para o movimento de emergência. E as expressões de Nelson e Mowrer (2002) são derivadas de expressões anteriormente deduzidas por Fruin (1987), Pauls (1980) e Predtechenskii e Milinskii (1978).

Uma publicação do Ministério das Construções do Japão (1985) *cf.* Ono (2010) descreve que a proximidade entre os valores reais e os medidos varia em função do tipo de população e da densidade consideradas mas é possível afirmar que a diferença de valores não é significativa em densidades entre 1,5 e 2,5p/m².

Para situações com densidade menor do que 2p/m² Togawa, Nakamura e Yoshioka e Nelson, equações (3.10) a (3.12), definem que a não alteração da velocidade de movimento em função da densidade de pessoas não é significativa uma vez que, nessa situação, o movimento das pessoas é livre, os indivíduos têm liberdade de movimentos. Os restantes autores indicam uma relação contínua de redução de velocidade para valores próximos de 0,3m/s com o aumento de densidade acima de 3,5p/m².

Quadro 3.1 - Expressões matemáticas de diferentes autores para a velocidade de deslocamento de pessoas em vias horizontais de emergência. (Fonte: Ono, 2010)

Autores	Expressões
Togawa [1955 <i>cf.</i> Coelho (2010)]	Para $D \leq 1 \rightarrow V = 1,3$ (3.3)
	Para $D > 1 \rightarrow V = 1,3 \cdot D^{-0,8}$ (3.4)
Nakamura e Yoshioka [1975 <i>cf.</i> Coelho (2010)]	Para $D \leq 1 \rightarrow V = 1,243$ (3.5)
	Para $D > 1 \rightarrow V = -0,26 + \left[\left(\frac{2,39}{D}\right) - 0,13\right]^{-0,5}$ (3.6)
Predtechenskii e Milinskii (1978) para deslocamento em situação normal	Para $0 < D < 7,36$ então $V_N = 0,000456 \cdot D^4 - 0,0124 \cdot D^3 + 0,113D^2 - 0,452 \cdot D + 0,95$ (3.7)
Predtechenskii e Milinskii (1978) para deslocamento em situação de emergência	Para $0 < D < 7,36 \rightarrow V_E = V_N \cdot (1,49 - 0,36 \cdot D)$ (3.8)
Fruin (1987)	$V = 1,499 - 0,394 \cdot D$ (3.9)
Nelson e Mowrer (2002)	Para $D < 0,54 \rightarrow V = 1,19$ (3.10)
	Para $0,54 \leq D < 3,8 \rightarrow V = 1,40 - (0,372 \cdot D)$ (3.11)
	Para $D \geq 3,8 \rightarrow V = 0$ (3.12)

Coelho (2010) afirma que a existência de pequenos obstáculos, esquinas e curvas ao longo do caminho de evacuação, não influênciam significativamente o movimento de pessoas porque à entrada das curvas existentes ao longo do caminho de evacuação a velocidade diminui aumentando a densidade, e à saída sucede o inverso. A presença de objetos que impeçam o livre movimento dos ocupantes nas vias de evacuação não é aconselhada pela regulamentação sendo a largura efetiva de um caminho de evacuação calculada também em função da existência dos obstáculos.

3.5. Movimento descendente em rampas

Ono (2010) refere que a circulação por rampas é pouco estudada presumindo que tal se deve à diminuta utilização destas vias como caminhos de evacuação uma vez que exigem maiores áreas de construção quando comparadas com as vias verticais.

Coelho (2010) refere, sem indicar valores, que a existência de rampas nos caminhos de evacuação provoca algumas alterações no movimento verificando que existe *uma pequena mudança na amplitude do passo* e que para *rampas pouco inclinadas em movimento descendente, a velocidade tende a aumentar em função do declive até atingir uma velocidade máxima (para aproximadamente 7% de inclinação) e a partir desse ponto a velocidade tende a diminuir*.

Fruin (1987) refere que o movimento ascendente em rampas com inclinação até 5% não afeta a velocidade na evacuação. Em rampas com 5% a 10% de inclinação é notório um decréscimo de até 10% da velocidade e em rampas com 10% a 20% de inclinação o decréscimo pode ser de até 25%.

Nelson e Mowrer (2002) consideram que os valores de velocidade e fluxo em corredores, filas, rampas e portas são representados pela mesma expressão e com os mesmos fatores de correção diferenciando-os apenas para as escadas, conforme o Quadro 3.2.

Quadro 3.2 - Velocidade e fluxo específico máximo em corredores, rampas, portas e escadas. (Fonte: Nelson e Mowrer, 2002 cf. Ono, 2010)

Elemento da rota de fuga			Velocidade máxima livre (m/s)	Fluxo específico máximo [p/(s/m de largura efetiva)]
Corredores, rampas e portas			1,19	1,3
Escadas				
Altura do espelho (cm)	Profundidade do piso (cm)	Ângulo (°)		
19,0	25,4	36,9	0,85	0,94
17,8	27,9	32,5	0,95	1,01
16,5	30,5	28,4	1,00	1,09
16,5	33,0	26,6	1,05	1,16

3.6. Movimento em vias verticais de emergência

Blondel (1675 *cf.* Templer 1994) iniciou os estudos da circulação por vias verticais de evacuação (VVE) observando várias escadarias existentes para o estudo do conforto das escadas. O autor encontrou uma relação constante entre a largura do passo humano e a altura (X) e profundidade do degrau (Y), equação (3.13):

$$2X + Y = 64,77 \text{ cm} \quad (3.13)$$

Templer focando-se nos acidentes em escadas sugere que X e Y deverá de ser adotada em função das características antropométricas da população.

O Decreto-Lei n.º 163/2006 de 8 de Agosto (define as normas de acessibilidade a edifícios) prevê a relação prevista na equação (3.13).

Nelson e Mowrer (2002) consideraram a influência da relação altura do piso com o número de degraus para cálculo da velocidade e do fluxo de pessoas em escadas e com o ângulo da escada (em graus), conforme se demonstra no Quadro 3.2.

De acordo com Ono (2010), o Ministério das Construções do Japão (em 1985) com base em pesquisas sobre a influência do ângulo de inclinação das escadas com a velocidade descendente concluiu que a inclinação tem pouca influência quando se tratam de inclinações entre 26,5° e 30°.

Bukowski (2008) sugere outros elementos que interferem na segurança dos caminhos de evacuação vertical: a iluminação necessária para identificar o início e o término dos degraus, a rugosidade do piso preferencialmente com acabamento de maior atrito e antiderrapante, os corrimãos que permitem que pessoas se apoiem e mantenham o equilíbrio tanto quando se encontram paradas como em deslocamento, os guarda-corpos que impedem quedas em altura nos limites da escada e a distinção dos degraus por cor contrastante que permite melhor visualização de cada degrau.

Quanto à velocidade de deslocamento em VVE, consideram-se dois tipos de velocidades distintas: a ascendente e a descendente, apresentadas no Quadro 3.3, equações (3.14) a (3.22). Contudo, refira-se que no edifício em estudo apenas se inclui movimento descendente (embora noutros edifícios, o movimento ascendente em evacuação seja uma realidade).

Pauls (1980) indica valores baseados na observação direta de escadas existentes. Predtechenskii e Milinskii (1978) introduzem um coeficiente empírico à expressão da velocidade horizontal e em situação de emergência acrescentam o fator de 21% à expressão da velocidade normal. Watanabe *et al.* corresponde à expressão de velocidade horizontal de Nakamura.

Relativamente aos fluxos específicos, as fórmulas apresentam valores idênticos para menores densidades começando a divergir a partir de aproximadamente 2p/m^2 , principalmente no caso de Pauls (1980) e Nelson e Mowrer (2002).

Quadro 3.3 - Expressões matemáticas de diferentes autores para a velocidade de deslocamento em vias verticais de emergência em movimento descendente. (Fonte: Ono, 2010)

Autores	Expressões
Togawa [1955 cf. Coelho (2010)]	$V_d = 1,08 - 0,29.D$ (valores para escadas de 1,30m de largura total) (3.14)
Predtechenskii e Milinskii (1978) para deslocamento em situação normal	Para $0 < D < 7,36$ então $V_N = [0,44 \cdot e^{-0,0431 \cdot D} \cdot \sin(0,671 \cdot D)] \cdot (0,000456 \cdot D^4 - 0,0124 \cdot D^3 + 0,113D^2 - 0,452 \cdot D + 0,95)$ (3.15)
Predtechenskii e Milinskii (1978) para deslocamento em situação de emergência	Para $0 < D < 7,36 \rightarrow V_E = 1,21 \cdot V_N$ (3.16)
Fruin (1987)	$V = 0,6782 - 0,0884 \cdot D$ (3.17)
Nelson e Mowrer (2002)	Para $D < 0,54 \rightarrow V = 1,0$ (3.18)
	Para $0,54 \leq D < 3,8 \rightarrow V = 1,16 - (0,30856 \cdot D)$ (3.19)
	Para $D \geq 3,8 \rightarrow V = 0$ (3.20)
Watanabe et al. (1973 cf. Coelho 2010)	Para $D \leq 1 \rightarrow V = 1,0$ (3.21)
	Para $D > 1 \rightarrow V = 0,8 \cdot [-0,26 + (\frac{2,39}{D} - 0,13)^{0,5}]$ (3.22)

3.7. Pontos de transição

Os pontos de transição na evacuação são relevantes por induzirem a alterações da densidade e do fluxo específico antes, durante e após a sua passagem. São os pontos nos quais o caráter ou a dimensão da rota se altera. São exemplos qualquer ponto onde uma rota se alarga ou se estreita provocado pela existência de um móvel, o momento de passagem por uma porta horizontal e o momento de entrada em escadas verticais, o ponto onde duas ou mais rotas se encontram (fluxo convergente) ou se separam (fluxo divergente)].

Nelson e Mowrer (2002) consideram os seguintes pressupostos para o cálculo das densidades e fluxos específicos nos pontos de transição:

1. O fluxo calculado (F_C) após um ponto de transição é função, dentro de certos limites, do fluxo na entrada do ponto de transição;

2. O fluxo calculado (F_C em p/m/s) após o ponto de transição não pode ultrapassar o fluxo específico máximo ($F_{e,max}$) para o elemento da rota envolvido multiplicado pela sua largura efetiva (L_e , em m), equação (3.23):

$$F_C < F_{e,max} \cdot L_e \quad (3.23)$$

Quando o fluxo específico calculado para a rota ultrapassa o fluxo específico máximo ($F_{e,max}$) no ponto final da transição existe congestionamento antes da transição e, consequentemente, o número de pessoas (N_p) neste ponto aumenta numa proporção igual ao fluxo calculado ($F_{C,in}$) na entrada da transição menos o fluxo calculado que abandona a rota após a transição ($F_{C,out}$), equação (3.24).

$$F_p = f(F_{C,in} - F_{C,out}) \quad (3.24)$$

3. Quando o fluxo específico calculado de saída de um ponto de reunião de várias rotas é menor que o fluxo específico máximo ($F_{e,max}$) é difícil calcular o tempo de escoamento na rota de entrada.

As rotas podem dividir o acesso no ponto de transição igualmente ou pode haver uma predominância de uma das rotas em relação à outra. Em cálculos conservadores assume-se que a rota principal tem vantagem sobre as rotas secundárias.

Tanaka (2002) também apresenta o mesmo princípio adotado por Nelson e Mowrer (2002), porém, considerando duas alternativas para o fluxo calculado após o ponto de transição.

Considerando P o número de pessoas no ambiente, C o comprimento do corredor (m) e V a velocidade média de deslocamento (m/s) e assumindo que o valor do fluxo calculado de saída ($F_{C,out}$) depende da relação do fluxo calculado de entrada ($F_{C,in}$) com o fluxo específico máximo ($F_{e,max}$) e multiplicado pela largura efetiva da rota, equações (3.25) a (3.27):

$$F_{C,in} = \frac{P}{C \cdot V} \quad (3.25)$$

Tem-se que

$$F_{C,out} = F_{C,in} \quad \text{se} \quad F_{e,max} \cdot L_e > F_{C,in} \quad (3.26)$$

Ou

$$F_{C,out} = F_{e,max} \cdot L_e \quad \text{se} \quad F_{e,max} \cdot L_e \leq F_{C,in} \quad (3.27)$$

Predtechenskii e Milinskii (1978) consideram que nos pontos de transição a densidade (D), a velocidade (V) e a largura da passagem variam para que o fluxo calculado (F_C) se mantenha constante ao longo de todo o percurso, propondo uma equação para uma transição entre a rota x e a rota $x + 1$ em que o fluxo calculado (F_C) é o mesmo, equações (3.28) a (3.30):

$$F_C(x) = F_C(x + 1) \text{ onde } F_C = F_e \cdot L_e \quad (3.28)$$

Então tem-se que:

$$F_e(x) \cdot L_e(x) = F_e(x + 1) \cdot L_e(x + 1) \quad (3.29)$$

Que pode ser representada em função das densidades, da velocidade e da largura eficaz:

$$D(x) \cdot V(x) \cdot L_e(x) = D(x + 1) \cdot V(x + 1) \cdot L_e(x + 1) \quad (3.30)$$

Predtechenskii e Milinskii (1978) apresentam na sua publicação, um quadro com os dados que relacionam a velocidade, a densidade e o fluxo específico em função da situação do movimento, situação normal, de emergência ou de conforto, assim como do seu tipo, horizontal, por portas, escadas descendentes ou escadas ascendentes.

Desta forma, conhecendo-se um dos dados de um dos ambientes envolvidos, densidade ou velocidade, é possível calcular o fluxo específico pela equação abaixo. Na situação em que a quadro fornece densidades e velocidades diferentes para o mesmo fluxo específico, os autores recomendam adotar o valor de densidade mais baixo, equação (3.31).

$$F_e(x + 1) = \frac{F_e(x) \cdot L_e(x)}{L_e(x + 1)} \quad (3.31)$$

Os mesmos autores definem duas zonas de transição relativamente à alteração de largura da via: classificando em zona de transição divergente quando a transição é de uma largura menor para outra maior e convergente quando a transição é de uma largura maior para uma menor.

Assim, verifica-se a grande influência dos pontos de transição no cálculo do tempo de evacuação seja na situação de fluxos convergentes para uma saída (salas) seja na de saídas de pisos (portas de acesso a escadas).

3.8. Largura das vias de evacuação

O dimensionamento de saídas é crucial para o bom desempenho dos caminhos de evacuação em situação de emergência, verificando-se a necessidade tanto de avaliar o número de saídas como a largura de cada uma delas para evitar congestionamentos que, conseqüentemente, aumentam o tempo para os ocupantes alcançarem um local seguro.

A largura das vias de evacuação é determinada pelo número de pessoas previstas de a utilizar. O estudo da utilização das vias de evacuação nomeadamente quanto à sua capacidade, por tipo de ocupação do edifício, e perfil da população, determinando a população passível de utilizar cada via de evacuação e a sua velocidade de deslocamento e fluxos de evacuação é importante no estudo do processo de evacuação.

A largura mínima das vias de evacuação é definida pela largura através da qual duas pessoas conseguem caminhar lado a lado, medida correspondente à medida entre os ombros exteriores de duas pessoas colocadas lado a lado, e não deve ser diminuída no sentido da saída de emergência nem diminuir a sua capacidade de fluxo por portas não dimensionadas adequadamente, objetos, mobiliários ou outros equipamentos que deverão ser previstos na determinação da largura das vias de evacuação.

Fruin (1987) e Pauls (1980) analisaram a influência do balanço lateral dos corpos em andamento, motivações para o afastamento das paredes (p. ex. sua aspereza, corrimãos, existência de saliências contínuas e outros elementos construtivos).

Nelson e Mowrer (2002) estudaram a largura efetiva considerando os elementos de contorno que caracterizam a camada de fronteira da largura efetiva e apresentaram uma listagem da distância a considerar em relação aos elementos de evacuação, apresentados no Quadro 3.4. A largura efetiva é calculada de parede a parede em corredores, pela largura dos degraus em escadas, pela largura da porta em posição de aberta e pelo espaço entre assentos/lugares em salas de espetáculo e estádios.

Quadro 3.4 - Distância mínima a considerar na largura efetiva em relação ao caminho de evacuação.
(Fonte: Nelson e Mowrer, 2002)

Elemento do caminho de evacuação	Limite a considerar (em cm)
Escadas e paredes laterais	15
Grades e corrimãos	9
Cadeiras de teatro e estádios	0
Rampas e paredes horizontais em corredores	20
Obstáculos diversos (p. ex. mobiliário)	10
Passagens e túneis	46
Portas e arcos	15

Os mesmos autores afirmam que os corrimãos apenas devem ser considerados quando sobressaem mais do que 2,5cm da parede assim como a sinalização de emergência ao nível do chão.

3.9. Saídas de emergência: número mínimo, distribuição, localização e proteção

O número mínimo de saídas de emergência é determinado em função da população do edifício ou piso para que o somatório do fluxo de evacuação de todas as saídas de emergência seja o adequado para a segurança dos ocupantes.

Recomenda-se, no mínimo, a existência de duas saídas de emergência em todos os edifícios apesar de esta ser uma exigência legal somente em edifícios e recintos com elevado efetivo. O RT-SCIE no art.º 54.º apenas inclui esta recomendação para edifícios cobertos com mais de 50 ocupantes para recintos ao ar livre com efetivo superior a 150 ocupantes. As saídas de emergência nesta situação devem ter pelo menos 2 unidades de passagem (UP) cada (pelo menos 1,40m) aumentando com o efetivo.

Todos os compartimentos de incêndio devem ter duas saídas de emergência que encaminhem os ocupantes a dois ou mais caminhos de evacuação independentes entre si, considerando a possibilidade de uma delas ser obstruída ou comprometida durante o incêndio. Desta forma, duas ou mais saídas de um compartimento que levam a um mesmo corredor não são consideradas saídas alternativas de evacuação, aumentando apenas os fluxos de saída do compartimento.

As saídas são distribuídas com vista a adequar a distribuição dos ocupantes e consequentemente a aumentar o fluxo de saída do edifício: saídas de emergência próximas são passíveis de gerar concentração de pessoas/congestionamentos. As portas deverão de ser de duas folhas e a posição de aberta ser no sentido do caminho de evacuação.

Gwynn (2007) pelos seus estudos concluiu que o fluxo específico da saída de emergência é influenciado não só pela sua largura mas também pelo mecanismo de abertura e de fecho e a forma como os evacuados interpretam estes mecanismos. As exigências regulamentares deverão prever tais mecanismos assim como os modelos computacionais de evacuação.

O termo largura efetiva identifica uma redução na largura disponível da saída através de questões de fronteira. Contudo, em alguns casos essa redução pode ser mais extrema e dinâmica como resultado do comportamento dos ocupantes e a natureza do mecanismo da saída. A largura física disponível pode variar durante o uso da saída com a largura efetivamente utilizada e ainda mais reduzida por questões de fronteira.

Gwynn alerta para a necessidade de recolher mais dados sobre a relação entre a largura da saída, o mecanismo da saída e a taxa de fluxo esperado considerando que estes são os elementos determinantes no cálculo do tempo de evacuação principalmente quando o efetivo é elevado.

Os regulamentos prescritivos definem distâncias máximas a percorrer para atingir saídas de emergência que variam em função do uso e ocupação do local. O RT-SCIE no art.º 57.º define que a distância máxima a percorrer nos locais de permanência em edifícios até ser atingida a saída mais próxima para o exterior ou para uma via de evacuação protegida deve ser de até 15m nos pontos em impasse ou de 30m nos compartimentos com acesso a saídas distintas.

Algumas exceções a estas distâncias são previstas quer por defeito para habitações unifamiliares da primeira categoria de risco quer por excesso para os parques de estacionamento, hotéis e restauração, edifícios comerciais e gares de transporte e industriais.

Para edifícios comerciais, o art.º 267.º define que o dimensionamento das saídas de emergência de lojas com efetivo previsto superior a 700 deverá prever que 2/3 desse efetivo se processa diretamente para o exterior ou para vias de evacuação protegidas que acedam ao exterior.

Considerando a velocidade média de deslocamento de 1,3m/s e densidade de 1p/m², de acordo com os valores propostos por Togawa (1955), o tempo máximo para um ocupante atingir uma via segura considerando a regulamentação portuguesa nos pontos em impasse é de 11,53s e de 23,07s nos compartimentos com acesso a saídas distintas.

Segundo Ono (2010) existe a tendência de se permitir maiores distâncias a percorrer em função da existência de sistema automático de deteção de incêndio associado a um sistema de extinção por água. Por se considerar que a deteção atempada aumenta o tempo disponível para a evacuação do edifício e permitindo que maiores distâncias sejam percorridas. No RT-SCIE esta situação não é, no entanto, prevista. Comparativamente às normas internacionais, a regulamentação portuguesa é mais exigente não sendo no entanto nela prevista distinções entre a atuação com meios de extinção automática e a sua ausência.

Para garantir a saída dos ocupantes de um edifício em situação de incêndio além do dimensionamento adequado dos caminhos de evacuação é importante dotá-los de proteção. Quer por meios passivos atuando na resistência e reação ao fogo de paredes, pisos, tetos, antecâmeras, caixas de elevadores e dutos, portas e de outros dispositivos de facilitação da evacuação. Quer por meios ativos pela implementação de sistemas de obturação automática nas portas dos caminhos de evacuação, por acionamento do sistema de deteção automático de incêndio, instalação de sistemas de controlo de fumo, pressurização de escadas e os próprios sistemas de deteção e alarme de incêndio e de iluminação e sinalização de emergência.

Ono (2010) propõe como alternativa a adoção das estratégias de evacuação complementares apresentadas no capítulo 3.1.2 prevenindo a necessidade de criação de escadas e patamares de dimensões elevadas e inviáveis.

3.10. Metodologias de cálculo do tempo de evacuação

O planeamento da evacuação e as regras de evacuação aplicaram-se cerca de 25 anos antes do início dos estudos. Aquando do início dos estudos a ausência de dados por observação direta induziu a alguns erros nos modelos hidráulicos.

A pesquisa sobre técnicas de evacuação desenvolve-se em torno de duas escolas distintas: uma baseada no estudo de fluxos de entrada e saída de ocupantes e outra baseada no comportamento/resposta dos ocupantes.

O estudo de fluxos de entrada e saída de ocupantes é baseado num modelo hidráulico que enfatiza o ponto de saída dos ocupantes pressupondo que todas as pessoas percebem e interpretam corretamente todos os sinais de incêndio e não inclui qualquer tipo de decisão indireta do ocupante, como p. ex. a seleção da rota mais familiar em detrimento da de menor distância.

Um dos primeiros relatórios data de 1935 *cf.* Ono (2010) e estabelece o tempo de evacuação de 2,5 minutos para um teatro sugerindo a utilização de fluxos muito elevados, cerca de 40p/minutos por 0,53m de largura de saída.

O desenvolvimento dos estudos relacionados com a evacuação e o comportamento humano em incêndio estão relacionados com a realização de diversas conferências sobre a temática na década de 1990, organizadas por associações de investigadores como a IAFSS (*International Association for Fire Safety Science*), Interflam (*International Conference and Exhibition on Fire Science and Engineering*), o Primeiro Simpósio Internacional sobre Comportamento Humano em Incêndio e por outras desenvolvidas pela NFPA (*National Fire Protection Association*).

A Figura 3.4 indica, ordenadamente, as fases a incluir na estimativa do tempo de evacuação (definida pela *British Standard (BS) DD240, 2004*, de forma idêntica à Figura 2.2:

1. Momento da ignição que define a hora de início do incêndio;
2. Tempo de deteção do incêndio é o tempo compreendido entre o momento de ignição e a deteção do incêndio: pode variar entre alguns segundos a horas, dependendo do tipo de incêndio e do meio de deteção;
3. Tempo de ativação do alarme é o tempo compreendido entre o tempo de deteção e o momento do alarme: em alguns casos o tempo de deteção e de alarme são simultâneos (p. ex. quando os ocupantes ativam manualmente o sinal de alarme) e,

- Tempo entre o alarme e a evacuação completa é o tempo decorrido até que o último ocupante se encontre em local seguro: calculado em função das componentes percepção, interpretação e ação descritas no capítulo 2.4.

Após a decisão de evacuação e antes de iniciar o movimento de saída os ocupantes desenvolvem um conjunto de ações antes de iniciar a evacuação como vestir-se, reunir as crianças ou encontrar objetos de valor.

Ono (2010) refere que o tempo de deslocamento, na maioria das situações, não constitui a maior parcela do tempo total de evacuação assumindo que o somatório dos tempos que antecedem o início do movimento de evacuação, tempo de deteção e tempo de alarme, são maiores, também como referido no capítulo 2.5.

Para edifícios comerciais, o art.º 267.º define que o dimensionamento das saídas de emergência de lojas com efetivo previsto superior a 700 deverá prever que 2/3 desse efetivo se processa diretamente para o exterior ou para vias de evacuação protegidas que acedam ao exterior.

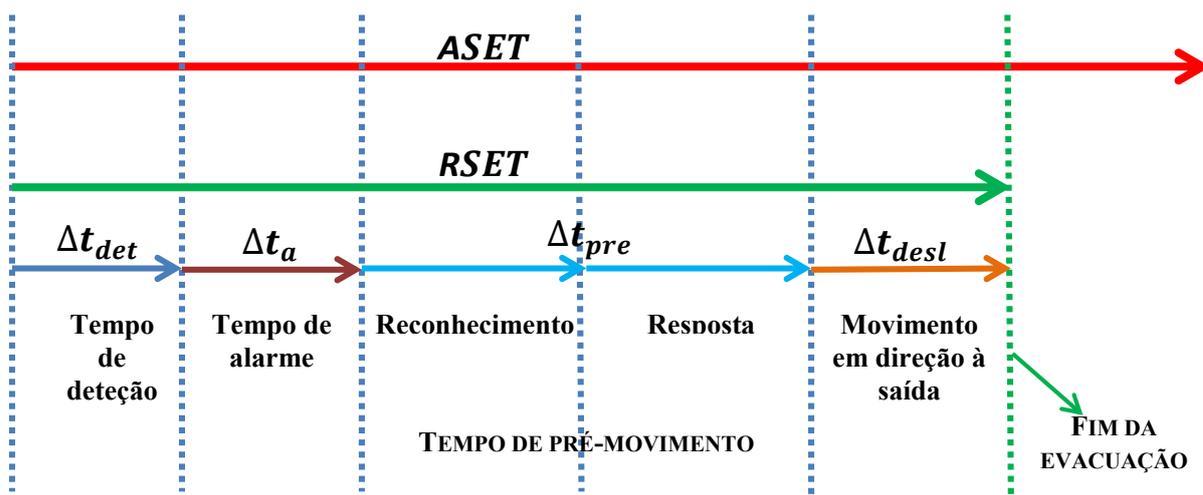


Figura 3.4 - Sequência do processo de evacuação em situação de incêndio. (Fonte: Proulx, 2002)

O cálculo do tempo de evacuação tem como premissa o cálculo do tempo admissível para evacuar o edifício em situação de emergência (**RSET**) pressupondo sempre que este é inferior ao tempo disponível para a evacuação (**ASET**), equação (3.32).

$$RSET = \Delta t_{det} + \Delta t_{\alpha} + (\Delta t_{pré} + \Delta t_{desl}) \quad (3.32)$$

Onde Δt_{det} é o tempo da ignição até à deteção do incêndio (por sistema automático ou humana), Δt_{α} o tempo da deteção até ao alarme geral, $\Delta t_{pré}$ o tempo de pré-movimento para os ocupantes do compartimento ou edifício que inclui o tempo de reconhecimento e de resposta e Δt_{desl} o tempo de deslocamento dos ocupantes do compartimento ou edifício até um local seguro.

Para a satisfação das condições mínimas de sobrevivência, Proulx (2002) defende que o tempo útil para abandono do edifício deve ser o dobro do tempo de evacuação previsto.

O tempo de evacuação compreende o tempo necessário para que todos os ocupantes de um edifício ou de parte dele atinjam uma zona de segurança. Divide-se em duas componentes principais: o tempo de atraso para iniciar o movimento de evacuação (adiante designado de pré-movimento) e o tempo necessário para atingir um lugar de segurança.

O tempo de evacuação é calculado a partir do momento de detecção até que o último ocupante evacuado atinja um local seguro e o tempo disponível para a evacuação dos ocupantes que no caso de um incêndio deverá de ser limitado pela duração prevista das condições de sustentabilidade nos caminhos de evacuação. O tempo de evacuação de um edifício é fortemente influenciado pelo comportamento individual e coletivo dos ocupantes desse edifício. O cálculo do tempo de evacuação é, também, função da capacidade de escoamento de uma saída/corredor considerando a sua largura e o número de pessoas assim como a sua velocidade de deslocamento.

O estudo de fluxos de pessoas na evacuação é a metodologia que a maioria dos investigadores como Predtechenskii e Milinskii (1978), Fruin (1971) e Pauls (1980 e 1986) utilizam para o cálculo do tempo de evacuação estudando a relação entre velocidade de movimento e densidade populacional nos locais a evacuar.

Com efeito, a maioria dos métodos desenvolvidos têm como pressupostos que todos os ocupantes iniciam o movimento de evacuação no mesmo instante, a velocidade de deslocamento dos ocupantes mantém-se constante, não se prevendo qualquer interrupção inerente a decisões individuais e a maioria dos ocupantes não necessita de auxílio para a evacuação.

A influência de decisões individuais dos ocupantes no movimento de grupo e no tempo de evacuação de edifícios foi investigada por vários autores como Bryan (1977), Wood (1980), Keating e Loftus (1984), Sime (1984) e MacLennan (1986) que analisaram o impacto das decisões individuais no movimento de grupo e no tempo de evacuação.

Os fatores que mais interferem no tempo de evacuação são a demora na notificação aos ocupantes do edifício, o tempo de congestionamento de vias de evacuação e pontos de transição, a ineficiente distribuição dos ocupantes pelas vias de evacuação e os atrasos de tempo de paragem e reinício de fluxos em pontos de transição.

A previsão do movimento dos ocupantes na evacuação assume especial relevância em projetos de segurança baseados no desempenho.

Autores como Togawa (1955) e Nakamura e Yoshioka (1975) desenvolveram complexas fórmulas de cálculo do tempo de evacuação. Contudo, a comparação com simulações reais demonstrou a sua ineficiência nomeadamente ao nível da configuração das VVE e dos fluxos máximos e médios adotados. Em contraste Pauls (1980) apresentou uma metodologia, menos complexa, de fácil aplicação e fortemente testada e comparada com tempos reais.

3.10.1. Método de Pauls

Pauls analisou os exercícios de evacuação total de 29 edifícios de escritórios com 8 a 21 pisos, duas caixas de escada e monitorando 58 saídas de emergência no piso de saída e de algumas nos pisos intermédios com instrumentos de medição e observadores móveis. Para efeitos de cálculo, o autor definiu a largura efetiva das vias de evacuação descontando à largura total da via elementos como corrimãos e ainda acrescentou uma margem de segurança a cada elemento, como forma de considerar o balanço lateral das pessoas em deslocamento.

Outro pressuposto da metodologia é de que o fluxo de evacuação varia de forma não linear com o número de pessoas evacuadas e em função do vestuário dos ocupantes.

A partir dos seus estudos Pauls apresentou duas equações distintas: uma não linear mais próxima dos resultados observados com um erro de aproximadamente 0,2% e outra linear, equações (3.33) e (3.34) respetivamente:

$$T = 0,68 + 0,081p^{0.73} \quad (3.33)$$

$$T = 2,00 + 0,0117p \quad (3.34)$$

Em que: T o tempo mínimo, em minutos, para a evacuação completa e p o n.º de ocupantes por metro de largura efetiva de escada eficaz medido imediatamente acima do nível da saída de emergência para o exterior/local seguro.

Pauls (1978), por observação direta, em Ottawa no Canadá em 1969, de edifícios altos iniciou os estudos à problemática da evacuação de edifícios em altura, baseando-se em modelos hidráulicos supondo que não se formavam congestionamentos nos caminhos de evacuação e os percursos para a saída eram simples e direcionados para as saídas). Considerou que para edifícios mais altos e pisos com menor efetivo, o tempo de descida das VVE tende a aumentar derivado da menor densidade de cada piso mas maior congestionamento na caixa de escada, apresentando uma equação para aplicação em edifícios altos, equação (3.35):

$$T = 0,70 + 0,0133p \quad (3.35)$$

Pauls (1978) defende que para edifícios com até 15 pisos e com um efetivo igual ou menor a 1.000 ocupantes, a metodologia de evacuação poderá ser total, contudo quando o incêndio é localizado num piso intermédio do edifício a evacuação deverá de ser parcial.

3.10.2. Método de Proulx

Proulx (2002) apresentou um método simples de previsão do tempo de evacuação ($t_{evacuação}$) baseando-se em valores padronizados, de acordo com o Quadro 3.5, através dos quais indica os dados necessários para o cálculo do tempo de evacuação em função da largura da via de evacuação, da densidade populacional e da velocidade de deslocamento dos ocupantes nessa via, recorrendo à equação (3.36).

$$t_{evacuação} = largura \times densidade \times velocidade \tag{3.36}$$

Quadro 3.5 - Parâmetros para o movimento de pessoas em diversas situações. (Fonte: Proulx, 2002)

Via de evacuação	Fator de densidade	Densidade (m ²)	Velocidade (m/minutos)
Escada	Pequeno	0,005	45,72
	Moderado	0,009	36,58
	Grande	0,018	28,96
	Máximo	0,028	12,19
Corredor	Pequeno	0,005	76,20
	Moderado	0,009	60,96
	Grande	0,019	36,58
	Máximo	0,028	18,29
Porta	Moderado	0,009	51,82
	Grande	0,020	36,58
	Máximo	0,028	15,24

O método não prevê situações de congestionamento em escadas e a autora aconselha a utilizar os fatores de densidade grandes ou máximos. Através deste método podem ser consideradas as seguintes características construtivas, sob condições de fluxo normal: condições construtivas inadequadas poderão aumentar os tempos de evacuação em 1/3, uma escada com 1,22m de largura nominal tem cerca de 1m de largura efetiva e um fluxo 1p/s em condições de fluxo moderadas e uma velocidade de deslocamento de 0,5m/s. Cada pessoa ocupa em média 2 degraus no deslocamento em escada, na circulação em corredores, com largura nominal de 1,22m, o fluxo é de 1,33p/s e a velocidade de deslocamento de 1m/s e a densidade 1p/m², saídas de 0,91m de largura nominal permitem fluxos de 1p/s em condições de densidade grandes e máximas. E uma porta giratória permite um fluxo de 0,5p/s e uma escada rolante de 1,5p/s e uma relação de segurança entre largura de escadas/corredores e saídas é de 4:3 (em pés) ou seja 1,22m de escada ou corredor para 0,91m de saída de emergência.

3.10.3. Método de Nelson e Mowrer

Nelson e Mowrer (2002) estimam o tempo de evacuação de edifícios com mais de um piso apresentando duas abordagens distintas. No primeiro método consideram que:

1. O principal fator de restrição do fluxo é a caixa de escadas ou a porta de acesso a ela, verificando-se um congestionamento nestes pontos e, portanto, o fluxo específico (F_e) será o fluxo específico máximo ($F_{e,max}$) estabelecido para cada situação. A população utiliza as saídas (portas, escadas e corredores) de forma equilibrada e racional e todas as escadas e portas têm mesma dimensão;
2. **Estimativa da capacidade de fluxo na(s) escada(s):** determinação da largura efetiva (L_e) da escada considerando os efeitos de borda, Quadro 3.4, e o fluxo específico máximo ($F_{e,max}$) para escadas, Quadro 3.2, obtendo o fluxo calculado (F_c) para a escada;
3. **Estimativa da capacidade de fluxo na(s) portas(s) de acesso à(s) escada(s):** determinação da largura efetiva (L_e) da porta considerando os efeitos de borda, Quadro 3.4, e o fluxo específico máximo ($F_{e,max}$) para portas, obtendo o fluxo calculado (F_c) para a porta.
4. **Fluxo dominante:** comparação dos valores de fluxo específico para cada conjunto de porta e escada. O fluxo dominante é o de menor valor entre os respectivos fluxos específicos máximos do conjunto;
5. **Estimativa da velocidade descendente em escadas:** obtida pela equação abaixo em que V é a velocidade no caminho de evacuação (m/s), D a densidade de pessoas (p/m²) e k uma constante (a consultar no Quadro 3.6), equação (3.37):

$$V = k. (1 - 0,266D) \tag{3.37}$$

Quadro 3.6 - Valores do fator k e do fator de conversão em função das dimensões dos degraus. (Fonte: Nelson e Mowrer, 2002)

Elemento da rota de fuga		Valores de k	Fator de conversão para as escadas
Corredores, rampas e portas		1,4	---
Escadas			
Altura do espelho	Profundidade do piso		
19,0 cm	25,4 cm	1,00	1,66
17,8 cm	27,9 cm	1,08	1,85
16,5 cm	30,5 cm	1,16	2,08
16,5 cm	33,0 cm	1,23	2,22

6. **Estimativa do fluxo descendente em escadas:** a distância percorrida nas escadas correspondente a um piso e obtém-se multiplicando o fator de conversão da distância a percorrer, Quadro 3.6, pelo número de degraus da escada e somando a estes a distância horizontal percorrida nos patamares. Em seguida obtém-se o valor do fluxo descendente por piso, dividindo esta distância (em m) pela velocidade descendente em escadas (m/s);
7. **Estimativa do tempo de evacuação total:** dividindo a população total do edifício acima do piso de referência pelo número de conjuntos portas/escadas e, por sua vez, dividindo o valor resultante da população servida por escada pelo fluxo específico dominante da escada ou porta, definido no ponto 4 desta sequência.

Desta forma obtém-se o tempo aproximado (em segundos) de evacuação de cada piso, ao que deve ser acrescido o tempo de evacuação de um piso à descida do segundo piso e assim consecutivamente até ao piso de referência. No segundo método os autores propõem uma análise detalhada dos cálculos para o tempo de evacuação de um edifício embora os resultados sejam idênticos aos do primeiro método:

1. O método supõe que o efetivo do edifício utiliza todas as saídas de forma equilibrada;
2. **Estimativas para cada piso:** determinando a densidade (D), a velocidade (V), o fluxo específico (F_e), a largura efetiva (L_e) e fluxo calculado inicial (F_C) típico para cada piso. Para tal determina-se a área de influência dos corredores para cada escada e em cada área a densidade e a velocidade para a situação onde todos os ocupantes se movem no corredor e ao mesmo tempo. A densidade é determinada dividindo a população pela área do corredor e a velocidade, equação (3.37). O fluxo específico é o produto da densidade e da velocidade. Posteriormente verifica-se se o fluxo específico é superior ao fluxo específico máximo, Quadro 3.2: em situação afirmativa adotar o último, em negativa adotar o primeiro. O fluxo calculado (F_C) é o produto do fluxo específico (F_e) adotado e da largura efetiva do corredor ($L_{e,corredor}$), de acordo com o Quadro 3.4;
3. **Estimativa do impacto da porta de acesso à escada no fluxo:** obtendo a largura efetiva da porta ($L_{e,porta}$) e subtraindo a distância mínima do Quadro 3.2. Face à existência de um ponto de transição, corredor/porta, verifica-se o impacto da porta no fluxo do corredor: para determinar o fluxo específico resultante na porta, recorre-se à equação (3.38):

$$F_{e,porta} = \frac{F_{e,corredor} \cdot L_{e,corredor}}{L_{e,porta}} \quad (3.38)$$

Compara-se o fluxo específico máximo para porta, Quadro 4.6, com o fluxo específico obtido ($F_{e,porta}$) e adota-se o fluxo específico de menor valor entre os dois;

4. **Estimativa de congestionamento na porta:** através do fluxo calculado (F_C) para a porta e comparando com o fluxo calculado para o corredor. Se o fluxo calculado para o corredor for maior a diferença entre os fluxos é o valor da taxa de congestionamento para acesso à porta da caixa de escada;
5. **Estimativa do impacto das escadas no fluxo de saída:** através da largura efetiva da escada dada pela diferença da largura total da escada do Quadro 3.4 e o fluxo específico máximo para a escada, Quadro 3.2.

Adotando-se o mesmo princípio da transição entre corredor e porta verifica-se o fluxo específico obtido na transição entre porta e escada, conforme demonstrado no ponto 3 desta sequência e compara-se com o fluxo específico máximo para escadas adotando o de menor valor;

6. **Estimativa do fluxo de descida inicial:** com o valor do fluxo específico obtém-se a densidade aproximada, expressão do Quadro 3.3, e calcula-se o valor da velocidade correspondente na escada e, por consequência, como no método A (ponto 6) obtém-se o tempo necessário para percorrer a distância de descida de um piso de escada (t_i);
7. **Estimativa do número de pessoas no interior da escada no momento inicial:** obtendo o fluxo calculado inicial que é o produto do fluxo específico e da largura efetiva da escada.

Após percorrer a distância de descida de um piso de escada, o número de pessoas no interior dessa VVE é o produto do fluxo calculado e do tempo para percorrer essa distância, equação (3.39):

$$P_i = F_C \cdot t_i \quad (3.39)$$

Multiplicando este valor (P_i) pelo número de pisos (x) obtém-se o n.º total de pessoas que entraram na escada no tempo t_i no edifício, equação (3.40):

$$P_i(x) = P_i \cdot (x) \quad (3.40)$$

Após este tempo (t_i) o fluxo é dominado pela mistura do fluxo de entrada da escada com o fluxo existente no interior da escada.

8. **Estimativa do impacto da mistura do fluxo de entrada pela porta em cada piso e do fluxo existente no interior da escada:** neste caso, a transição dos fluxos ($F_{e,porta}$ e $F_{e,anterior na escada}$) para um terceiro ($F_{e,posterior na escada}$) é dado pela equação (3.41).

$$F_{e,posterior na escada} = \frac{(F_{e,porta} \cdot L_{e,porta}) + (F_{e,anterior na escada} \cdot L_{e,anterior na escada})}{L_{e,posterior na escada}} \quad (3.41)$$

9. **Estimativa do tempo inicial para ocupação da caixa de escadas:** assumindo que todas as pessoas iniciam o abandono no mesmo instante em todos os pisos, com a velocidade inicial no corredor igual àquela obtida no ponto 2 desta sequência.

Assumindo-se, ainda, que as pessoas estão homogeneamente distribuídas no corredor, a distância média percorrida por pessoa é metade do comprimento do corredor e o tempo médio correspondente para essas pessoas atingirem a porta da escada é dado pela distância média dividida pela velocidade inicial.

Caso no instante (t_0), a capacidade de fluxo da porta da escada for inferior ao fluxo de pessoas no corredor, ocorrerá congestionamento junto à porta. Quando as primeiras pessoas que passam pela porta descerem um piso (instante t_i) nesse instante ($t_0 + t_i$), a população no interior da escada é $P_i(x)$. A partir deste instante, o processo de evacuação depende da sequência ou predominância de um piso sobre o outro na entrada na VVE.

Os autores assumiram a predominância do piso mais alto sobre os demais, isto é, predomina o fluxo descendente das pessoas no último piso superior e as pessoas nos pisos subsequentes vão entrando à medida que termina o fluxo que vem do piso superior.

3.10.4. Método de Tanaka

Tanaka (2002) conforme Ono (2010) propõe uma metodologia de cálculo do tempo de evacuação de um edifício considerando que o efetivo de cada piso se distribui igualmente entre as saídas de salas para as VHE e de pisos para as VVE.

O método é passível de aplicação a edifícios altos porque o autor propõe pisos-tipo e inclui pressupostos que diminuem significativamente a exigência dos cálculos necessários. O cálculo do tempo de evacuação de cada piso segue os princípios apresentados anteriormente, considerando a velocidade do fluxo e a distância a percorrer, além dos possíveis congestionamentos nos pontos de transição.

O tempo de evacuação das VVE é calculado pela fórmula abaixo em que T_{esc} é o tempo de descida das escadas, n o n.º de pisos, P o efetivo do piso que utiliza a VVE, F_e o fluxo específico da escada e L_e a largura efetiva da escada, equação (3.42):

$$T_{esc} = \frac{n \cdot P}{F_e \cdot L_e} \quad (3.42)$$

O fluxo específico para escadas é de 1,3p/(m.s) para escritórios. No entanto Tanaka (2002) conclui que este valor de fluxo específico implica que no interior de uma escada numa altura correspondente a um piso haverá uma ocupação de aproximadamente 20 pessoas por metro de largura de escada, ou seja, aproximadamente 0,05m por pessoa. Mas este valor apenas é economicamente viável para utilizações com efetivo reduzido como edifícios residenciais multifamiliares e hotéis. Para escritórios e grandes superfícies comerciais o valor adotado é de 0,01m/p em escadas. Assim, considerando este valor, tem-se a equação (3.43):

$$\frac{L_e}{P} < 0,01 \quad \text{ou} \quad \frac{P}{L_e} > 100 \quad (3.43)$$

Substituindo esta expressão e o valor do fluxo específico na equação infere-se que para edifícios altos, o tempo para descer um vão da VVE é de pelo menos 80 segundos por pessoa, dependendo o tempo total de evacuação da VVE do n.º total de pisos do edifício, equação (3.44).

$$T_{esc} > \frac{n}{1,3} \cdot 100 \quad \text{ou seja} \quad T_{esc} \approx 80 \cdot n \quad (3.44)$$

Deverá acrescentar-se a este tempo, o maior tempo de evacuação do piso (tempo necessário para percorrer a distância do ponto mais desfavorável até atingir a saída de emergência para a VVE) e o tempo para início do movimento de evacuação.

A equação final que representa o tempo total de evacuação do método proposto por Tanaka é dada pela equação (3.45):

$$T_{evacuação} = T_{pré-movimento} + T_{piso} + T_{esc} \quad (3.45)$$

Onde $T_{evacuação}$ representa o tempo total de evacuação do edifício, $T_{pré-movimento}$ o tempo necessário para o início do movimento de evacuação, T_{piso} o tempo de evacuação do ponto mais desfavorável do piso e T_{esc} o tempo de descida das escadas.

3.10.5. Modelos computacionais

Os modelos computacionais de evacuação são ferramentas de uso crescente na engenharia de segurança contra incêndio em análises do nível de segurança à vida com base no desempenho de edifícios surgindo, também, como forma de minimizar as deduções empíricas a que os métodos simplificados, como os anteriormente apresentados, recorrem.

De acordo com Kuligowski (2003), os primeiros modelos computacionais de abandono surgiram há mais de 30 anos e, desde então, têm sido melhorados, tanto pela quantidade e qualidade dos dados de entrada assim como pelo avanço da tecnologia de computadores.

Os modelos simulam a evacuação de indivíduos bem como o comportamento e detalhes dos recintos face ao incêndio e fumo. Incluem aspetos de interação pessoa-pessoa, pessoa-estrutura e pessoa-ambiente, possibilitando o enquadramento de milhares de indivíduos em geometrias complexas e a inclusão de dados de incêndio. Em função dos dados introduzidos pelo utilizador os programas estimam o tempo necessário para evacuar.

Tang (2008) demonstrou que um modelo de evacuação eficaz que simula a coexistência e interação dos principais fatores em situação de incêndio incluindo ocupantes, geometria da construção e desastres de incêndio durante a evacuação prevendo também uma possível deformação ou falha estrutural do edifício consequente do incêndio. Os resultados podem ser utilizados para avaliações dos projetos de construção em relação à segurança ao incêndio.

Kady *et al.* (2009) realizaram um levantamento em que verificaram que em apenas dois anos (2007/2009) surgiram no mercado 35 novos modelos computacionais de evacuação tais como o FDS+EVAC (desenvolvido na Finlândia), Building_EXODUS, Simulex, EEScape, Egress, Steps (Reino Unido), Exitt, PathFinder e EVACNET4 (EUA), EgressPro (Austrália) e o Exit89 (Japão).

Os modelos computacionais de evacuação são utilizados em diferentes etapas do projeto de segurança de incêndio visando sempre a validação da garantia das condições de segurança para os ocupantes em situação de incêndio. Contudo são mais eficientes aquando da sua aplicação desde o projeto de conceção do edifício, nomeadamente na definição das saídas e vias de evacuação à sua exploração.

Os dados de entrada dos modelos computacionais variam de acordo com o modelo incluindo desde as características do edifício (p. ex. número de pisos, localização de vias e saída de evacuação, definição da sua posição de aberta ou fechada e vários sistemas de segurança do edifício), às características dos seus ocupantes (p. ex. n.º de pessoas, dados antropométricos e seu perfil de idade, facilidade de deslocamento, familiaridade com o edifício e os ocupantes). Nos modelos computacionais que integram o incêndio os dados de entrada estão também associados ao incêndio.

Kuligowski (2003) apresenta um histórico do surgimento e desenvolvimento dos principais modelos e classifica-os em três categorias em função de suas características: modelos de movimento, modelos de comportamento parcial e modelos de comportamento. Nos modelos de movimento a população em estudo é homogênea, com velocidade e fluxos idênticos e distribuição da população pelas saídas da forma mais eficiente, em fluxo contínuo (modelo de fluxo hidráulico). Este modelo é útil para a verificação de áreas de congestionamento e de transição no edifício. Os modelos de comportamento parcial, por sua vez, são aqueles que calculam o movimento das pessoas, permitindo a introdução de comportamentos menos complexos, como a inserção do tempo pré-movimento nos ocupantes e o comportamento de ultrapassagem. Estes modelos têm como base os dados de observações de comportamento humano em exercícios de abandono de edifícios.

Os modelos de comportamento são aqueles que incorporam as ações dos ocupantes que vão além do movimento em direção à saída. Estes modelos atribuem o poder de decisão aos ocupantes para o desempenho de ações/comportamentos em função das condições a que são submetidos no edifício. Cada ocupante é individualizado e possui características próprias que podem variar de modelo para modelo, incluindo desde fatores mais simples como velocidade de deslocamento, à idade e gênero até outros mais complexos como o grau de familiaridade com o edifício e outros ocupantes, de mobilidade, de paciência (capacidade de espera em situação de congestionamento) e os efeitos do incêndio, como o fumo e temperatura incidente no indivíduo permitindo simular, inclusive, a morte dos ocupantes.

Quanto aos resultados dos modelos de simulação de incêndio e evacuação é possível a comparação dos dados de evacuação obtidos por simulação numérica com os obtidos numa situação real de incêndio ou em exercícios de treino, de forma a verificar se o tempo de evacuação obtido por aqueles é menor que o tempo disponível e necessário para a evacuação.

Na seleção do modelo de evacuação para uma simulação são considerados fatores de ordem técnica e económica. No Quadro 3.7 apresentam-se alguns desses fatores, segundo Kuligowski (2003).

Quadro 3.7 - Fatores a considerar na seleção do modelo de evacuação. (Fonte: Kuligowski, 2003)

Fatores	Caraterísticas a considerar
Objetivo	Define a tipologia/categoria do edifício em estudo: existem modelos que simulam qualquer tipo de edifício e outros que apenas simulam edifícios residenciais, terminais, estações de transporte público, edifícios de poucos pisos ou apenas de uma rota de fuga.
Disponibilidade ao público	Possibilidade de acesso e utilização do modelo. Alguns modelos são acessíveis ao público gratuitamente ou não e outros são de uso restrito de empresas de consultoria e podem, ainda, existir outros que não foram lançados ou que estão indisponíveis por desuso.
Estrutura do modelo	Precisão do movimento dos ocupantes no interior do edifício do modelo: modelos precisos subdividem a planta do edifício em malhas sobre as quais os ocupantes se movem enquanto modelos menos precisos apenas subdividem a planta em ambientes e o movimento dos ocupantes é realizado grosseiramente entre esses ambientes. Os modelos mais precisos permitem a colocação de obstáculos e barreiras na malha que podem influenciar de evacuação definida pelo agente.
Perspetiva do modelo	Como o modelo integra o ocupante: é importante conhecer se o modelo considera os ocupantes como um grupo homogêneo ou se os considera como indivíduos. No primeiro caso não é possível verificar a posição de cada indivíduo no tempo assim como atribuir características individuais. Como o ocupante integra o edifício: é importante conhecer se o ocupante considera o edifício de forma individual ou de forma global em grupo. Só no primeiro caso é possível atribuir o nível de conhecimento das saídas e atribuir o poder de decisão a cada ocupante.
Uso de dados de incêndio	Incorporação de dados do incêndio na simulação de evacuação e o método de introdução: importando dados de incêndio de outro modelo, permitindo inserir dados a certos instantes da simulação de evacuação, inserindo dados do modelo de incêndio que corre simultaneamente.
Importação de desenhos do CAD	Possibilidade de importação de arquivos DXF do programa de CAD (<i>Computer Aided Design</i>) para o modelo. A importação de arquivos de planta reduz a possibilidade de erros de entrada de dados e o tempo com essa tarefa.
Capacidade de visualização	Muitos modelos possibilitam a visualização do movimento pelo menos em duas dimensões (2D) facilitando a identificação de congestionamentos nos espaços. Outros modelos apresentam visualização em 3D e ainda existem modelos que não possuem esta interface.
Estudos para validação	A validação do modelo normalmente é realizada comparando os resultados das simulações por computador com dados de exercícios simulados de evacuação.
Movimento do ocupante	Normalmente, a velocidade inicial do ocupante é atribuída pelo modelo ou pelo utilizador. No entanto, é necessário verificar como o modelo realiza alterações nessa velocidade em função das filas e dos congestionamentos gerados ao longo da simulação. Existem desde modelos que desconsideram a questão até modelos que incluem a correlação da velocidade com a densidade populacional do espaço.
Comportamento do ocupante	O modelo pode não incluir nenhum tipo de comportamento ou diferentes graus de comportamento de forma gradativa até modelos que simulam a inteligência humana por meio da inteligência artificial.
Saída de dados (resultados)	A qualidade dos dados de saída deve ser analisada pois é necessário saber se o tipo de informação que o utilizador necessita é fornecido. Os principais dados de interesse são: o tempo de evacuação total, o tempo para os ocupantes abandonarem cada piso e o tempo de evacuação em saídas críticas.
Ferramentas especiais do modelo	A quantidade de fatores que tornam a simulação de evacuação mais realística deve ser considerada. De entre estes fatores podem estar a inserção de contra fluxos/entrada de pessoas em rotas de evacuação, obstáculos nas saídas, condições de incêndio, graus de mobilidade dos ocupantes, tempos de pré-movimento, uso de elevadores ou a preferência de um caminho de evacuação em detrimento de outro.
Limitações do modelo	O modelo pode ter limitações de capacidade de processamento, relacionada ao uso de computadores. Estas limitações podem ser p. ex. o número de ocupantes, de pisos, de obstáculos ou de espaçamento de malhas.

Para Gwynne *et al.* (2009) os dados dos modelos de evacuação têm por base dados empíricos limitados e obtidos há várias décadas e, por isso, podem não representar a condição atual induzindo a incertezas na modelação de simulações de evacuação.

Galea e Galparsoro (1994) e Galea *et al.* (1996) utilizaram o *software* Building_EXODUS para a previsão do comportamento humano em acidentes de incêndio em aeronaves.

Palechano e Badler (2008) aplicaram o *software* FDS+EVAC para o estudo da integração do comportamento humano no *software* propondo soluções de melhoria, sendo que algumas foram incorporadas no VTT (*Technical Research Centre of Finland*) em atualizações do *software*.

Veeraswamy *et al.* (2009) apresentaram uma ferramenta que considera o processo de decisão do indivíduo localizado no interior de um espaço complexo na seleção do caminho de evacuação (*wayfinding*). Na maioria dos modelos de simulação existentes os indivíduos não consideram vários fatores na seleção do caminho de evacuação sendo diretamente direcionados para a rota mais curta até à saída. Contudo resultados de vários estudos demonstram que são diversos os fatores que interferem na seleção do caminho de evacuação e são muito mais complexos que apenas a consideração da distância.

Ono (2010) recorreu a simulações com os *softwares* Building_EXODUS e FDS+EVAC para validação dos parâmetros regulamentares de projeto de edifícios altos do Brasil (considerando a norma NBR 9077 de 1993 da Associação Brasileira de Normas Técnicas, o Código de Obras e Edificações brasileiro de 1992 e a Instrução Técnica n.º 11 do Corpo de Bombeiros de São Paulo em 2005) e internacionais (a NFPA 101 de 2009) como descrito no ponto 3.9.

Xing *et al.* (2011) através de exercícios reais em apartamentos de estudantes comparando os resultados com os obtidos por modelação do edifício no *software* Building_EXODUS concluíram que a utilização daquele *software* permite simular o tempo de evacuação com resultados realísticos do tempo de evacuação do edifício em situação de incêndio.

Peizhong *et al.* (2013) analisou a evacuação de emergência de incêndio numa estação subterrânea de metro por simulação computacional. O autor alertou para a necessidade de determinar uma malha de resolução que otimize a precisão dos resultados e o tempo de simulação considerando a localização do incêndio, a taxa de libertação de energia, o efetivo do edifício, as condições de ventilação e as propriedades dos materiais.

O autor demonstrou que a taxa de libertação de energia tem diminuta influência na evacuação de emergência contudo a localização do incêndio, o efetivo, as condições de ventilação e as propriedades de resistência ao fogo dos materiais têm elevada influência na evacuação.

Chow (2009) estudou o tempo de espera para evacuação em áreas congestionadas incluindo simulações de evacuação de 60 centros comerciais e áreas públicas com o Buiding_EXODUS.

Chow e Candy (2008) estudaram o tempo de espera durante a evacuação de emergência em salas esgotadas e propuseram um índice de tempo de espera (WTI - *waiting time index*) para quantificar a interferência nas saídas com o buidingEXODUS e o Simulex. Neste estudo foram estudadas diferentes formas para melhorar a evacuação de emergência sob diferentes distribuições de efetivo variando o número de saídas disponíveis, a largura da saída disponível e a forma dos degraus das escadas dentro e fora das saídas. Lei *et al.* (2012) validaram a utilização do *software FDS+EVAC* aplicando-o a um dormitório de estudantes e verificando a adequabilidade dos resultados.

Ronchi *et al.* (2013) estudaram a evacuação de túneis com recurso a quatro *softwares* de simulação: FDS+EVAC, Steps, PathFinder e Simulex chegando a conclusões idênticas às de Palechano e Badler (2008) mas alertando para a necessidade de inclusão de dados inerentes ao comportamento humano como a utilização das saídas de emergência e o tempo de pré-movimento fatores que interferem na precisão do modelo de simulação.

Os processos cognitivos e conseqüentemente o comportamento humano são complexos e de difícil integração na metodologia baseada em modelos determinísticos. Para Joo *et al.* (2013) a previsão do comportamento humano em ambientes complexos e incertos, como os incêndios é impossível recorrendo a metodologia determinística. Com efeito, desenvolveram um modelo baseado na simulação de comportamentos humanos com vista à tradução das ações humanas em situação de incêndio incluindo dinâmicas baseadas na percepção e conhecimento da emergência e nas alterações do ambiente envolvente com vista a melhorar a fiabilidade dos resultados da análise do comportamento humano em situação de emergência.

Enquanto as investigações teóricas da interação ser humano-ambiente são alvo de pesquisa constante, a modelação e simulação de cenários que estudam o comportamento humano em situação de emergência tem sido discreta.

A simulação do comportamento humano implica a consideração da percepção da situação de emergência nomeadamente quanto aos fatores sociais, tais como as interações com os restantes ocupantes e ambiente envolvente e a comunicação dentro e entre ocupantes assim como emoções, níveis de cultura e conhecimento.

Contudo Joo *et al.* na sua investigação limitaram-se a integrar a percepção de incêndio pelo ocupante não considerando a interação humana, a comunicação com outros ocupantes assim como as características individuais dos ocupantes como o sexo, a idade e o peso. Este é um modelo que ainda se encontra em fase de validação.

O conceito de agente varia com a área de aplicação: em engenharia a definição de agente é inerente a um sistema do computador que atua autonomamente respondendo aos objetivos previamente definidos. Enquanto em simulações o conceito de agente refere-se a uma entidade que em interação com outros agentes gera sistemas complexos.

O desenvolvimento da maioria dos modelos de simulação de evacuação, inclusive do *FDS+EVAC*, enquadra-se na última definição em que cada agente corresponde a um indivíduo que representa um algoritmo de decisão entre as características individuais do agente e o ambiente envolvente, de acordo com os *inputs* do utilizador e as funcionalidades do programa de simulação.

A informação visual é considerada a principal fonte de informação para a ação humana em situação de incêndio através da qual cada indivíduo obtém informação tridimensional. Para modelar as ações humanas impulsionadas pela visão o modelo de simulação define os limites de percepção horizontais, o espaço dentro do qual um ser humano recebe informações do ambiente circundante e que é permanentemente atualizado em função do deslocamento da pessoa e da dinâmica de outras condições ambientais, p. ex. iluminação.

A direção visual do ser humano ou o ângulo de visão que engloba a possibilidade de o agente girar a cabeça e corpo é outro aspeto a considerar.

Outras investigações estudaram a modelação da evacuação em edifícios e outros locais com pessoas contudo os aspetos mais relevantes no que concerne à modelação da evacuação foram apresentados.

Ono (2010) refere que os estudos sobre métodos de dimensionamento de saídas de emergência ainda se encontram em desenvolvimento, referindo a importância de se continuar a estudar a análise sobre a influência dos produtos da combustão (fumo e gases quentes e tóxicos) e a sua propagação no comportamento humano, a avaliação das estratégias de evacuação no dimensionamento das saídas e no cálculo dos tempos de evacuação seguros em função das medidas de segurança contra incêndio adotadas para a edificação, podendo-se, para o efeito, recorrer a modelos computacionais.

Os modelos de simulação computacionais são ferramentas importantes e muito úteis na investigação de incêndio e evacuação principalmente para edifícios com características de uso e ocupação de risco elevado, com a finalidade de definir medidas de segurança contra incêndio adequadas.

3.11. Considerações finais

O cálculo do tempo de evacuação assume especial importância na verificação e validação das condições físicas do edifício na garantia do tempo necessário para a evacuação que deverá ser pelo menos metade do tempo de resistência ao incêndio da estrutura do edifício. É calculado desde o momento de detecção até que o último ocupante evacuado atinja um local seguro.

Ao longo dos anos diversos autores propuseram metodologias mais ou menos complexas de forma a calcular o tempo de evacuação, principalmente em torno de três variáveis: a densidade, a velocidade e o fluxo (específico e total) de evacuação. Em qualquer metodologia é importante a definição da largura efetiva dos caminhos de evacuação assim como a inclusão de fatores de segurança e sempre que possível incluir parâmetros caracterizadores do comportamento individual e coletivo dos ocupantes do edifício.

As diferenças entre os métodos de cálculos são principalmente ao nível das vias verticais de evacuação e das vias horizontais de evacuação, assim como nos pontos de transição entre estas. Outro aspeto relevante é o dimensionamento das saídas quanto ao número e largura determinado em função do número de ocupantes do edifício aumentando fluxos de evacuação e prevenindo congestionamentos, de forma a minimizar tempos de espera nos percursos de evacuação. O número mínimo de saídas de emergência é de duas saídas com, pelo menos duas unidades de passagem (1,40m).

O crescente desenvolvimento da tecnologia aliado à reunião de informações técnicas de evacuação permitiu o desenvolvimento de modelos computacionais de simulação de incêndio e evacuação que permitem a integração de várias componentes de incêndio e evacuação. Possibilitando a validação das condições de evacuação em situação de incêndio, tanto para o desenvolvimento de projetos baseados no desempenho como para a validação das estratégias de evacuação implementadas nos edifícios identificando oportunidades de melhoria e minimizando tempos de evacuação.

Em função do edifício o investigador deverá selecionar um modelo computacional tecnicamente adequado ao objetivo do estudo e sempre que possível suportar os seus resultados em simulações reais. Apesar dos desenvolvimentos e atualizações constantes, os modelos de simulação continuam a carecer de aperfeiçoamentos.

4. DESCRIÇÃO DO FDS+EVAC

O *FDS* (Mcgrattan *et al.*, 2013) foi criado e é mantido pelo *Building and Fire Research Laboratory* (BFRL) do *National Institute of Standards and Technology* (NIST), em colaboração com diversas instituições de investigação, é disponibilizado de forma integrada na internet e de acesso gratuito.

O aplicativo de evacuação do *FDS* (EVAC) foi desenvolvido e é mantido pelo Centro de Pesquisas Técnicas da Finlândia (VTT - *Technical Research Centre of Finland*). O programa constitui uma contribuição substancial na implementação do cálculo de evacuação no módulo do *Fire Dynamics Simulator* (*FDS*). O *Evac* pode ser utilizado de forma autónoma do módulo de *FDS* permitindo apenas simular a evacuação de um local, sem considerar os efeitos do incêndio nos ocupantes (Korhonen e Hostikka,2009).

Para o desenvolvimento deste estudo recorreu-se ao programa de visualização e introdução de dados *Pyrossim* (versão 2014.1.0110) e de visualização de dados de saída *Smokeview* (versão 6.1.5).

O *PyroSim* é uma interface gráfica para o *FDS+EVAC* criada pela *Thunderhead Engineering Consultants, Inc.* que auxilia na criação e gestão dos detalhes de modelos de incêndio complexos, nomeadamente ao nível da geometria do edifício (permitindo a importação de modelos em *CAD*), da introdução de dados de materiais, reação ao fogo e definição de saídas, portas e posições iniciais dos agentes, por exemplo. O *PyroSim* tem integrado o *Smokeview* que facilita a visualização dos dados.

O *FDS* destina-se à resolução de problemas práticos reais ou previsíveis de engenharia de incêndio analisando a dinâmica de diversos cenários de incêndio e resolvendo, numericamente, problemas de dinâmica de fluídos e de energia., nomeadamente quanto ao transporte de energia e produtos da combustão a baixas velocidades, à transferência de energia por radiação e convecção entre o comburente e as superfícies sólidas, ao estudo da pirólise, previsão da propagação do incêndio de chamas e fumo, no estudo da influência da utilização de meios automáticos de extinção (p. ex. *sprinklers*), dos meios de deteção por temperatura e fumo e da influência da utilização de cortinas de água.

No entanto vários obstáculos tendem a minimizar as potencialidades da análise computacional de incêndios como a definição dos cenários de incêndio a analisar, dos parâmetros físicos da fenomenologia da combustão, do material combustível e das condições de evacuação.

O *FDS* utiliza um modelo de campo para simulação do desenvolvimento de incêndio e comportamento dos produtos da combustão (temperatura, fumo e gases) assim como o *Evac*. Ou seja, considera, inicialmente, o comportamento de cada ocupante como o de uma partícula de fluido seguindo um escoamento principal.

O facto do *FDS+EVAC* considerar cada ocupante como uma entidade separada, com características e possibilidades de decisões de fuga distintas permite o estudo do movimento dos agentes usando planos bidimensionais que representam os andares dos edifícios e das forças físicas, psicológicas e ambientais que atuam sobre os agentes. O modelo que introduz a força social de grupo é o de *Helbing*, com as alterações introduzidas por Smith *et al.* (2009).

Para a definição do cenário de incêndio o *FDS+EVAC* requiere a entrada de parâmetros inseridos por meio de um arquivo de texto criado pelo utilizador do programa, definidos em diversa bibliografia de apoio à utilização do *FDS+EVAC* e sucintamente explicados no

Quadro 4.3.

A introdução de *inputs* no *FDS* consiste no primeiro passo do utilizador, os dados deverão ser devidamente selecionados e fundamentados. A forma como estes são introduzidos dependerá de diversos fatores como o grau de complexidade pretendido.

Após o programa correr são disponibilizados ao utilizador diversos dados de saída (*outputs*) relativos ao cenário de incêndio que são, *a posteriori*, tratados e analisados, nomeadamente quanto à evolução da temperatura e densidade do ar, da pressão, da velocidade de propagação do incêndio e de diversas espécies químicas no tempo assim como tempos de evacuação e a dosagem de gases tóxicos em cada indivíduo dentro da malha a cada intervalo de tempo.

Os *outputs* são disponibilizados em ficheiro de dados que *a posteriori* permitem uma simples descodificação através de ficheiro *.xlsx*. Os dados são disponibilizados em função dos dados de entrada e dos requisitos do programa.

4.1. Fundamentação teórica do *FDS+EVAC*

De acordo com o definido no capítulo 3.10.5 o *FDS+EVAC* é considerado um modelo de comportamento. O algoritmo de movimentação dos ocupantes inclui parâmetros físicos relacionados com a descrição física dos seres humanos como o tamanho corporal, a massa, a velocidade de deslocamento e o momento de inércia. E parâmetros relacionados com o tipo de movimento como os parâmetros de força social e os das forças de contato. Assim os seres humanos são modelados como agentes que se movem numa geometria 2D através da qual se representa o edifício. O tamanho de cada agente é representado por três círculos de aproximação a uma forma transversal elíptica em corte do corpo humano, conforme a Figura 4.1.

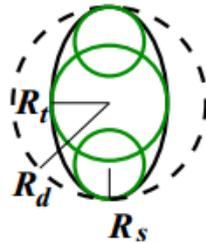


Figura 4.1 - Vista superior do indivíduo. (Fonte: Korhonen e Hostikka, 2009)

O Quadro 4.1 representa as velocidades de deslocamento em movimento livre e as dimensões do corpo no *FDS+EVAC*. O deslocamento do ombro é dado por $d_s = R_s - R_d$ e as dimensões R_d , R_s e R_t as identificadas na Figura 4.1. Os tamanhos de corpo e velocidades de deslocamento dos agentes podem ser personalizados.

Quadro 4.1 - Dimensões do corpo e velocidades de deslocamento livre adotadas, por defeito, pelo *FDS+EVAC*. (Fonte: Korhonen e Hostikka, 2009)

Tipo	R_d (m)	$\frac{R_t}{R_d}$ (-)	$\frac{R_s}{R_d}$ (-)	$\frac{d_s}{R_d}$ (-)	Velocidade de deslocamento (m/s)
Adulto	0,255±0,035	0,5882	0,3725	0,6275	1,25±0,30
Homem	0,270±0,020	0,5926	0,3704	0,6296	1,35±0,20
Mulher	0,240±0,020	0,5833	0,375	0,625	1,15±0,20
Criança	0,210±0,015	0,5714	0,333	0,6667	0,90±0,30
Idoso	0,250±0,020	0,6	0,36	0,64	0,80±0,30

De acordo com a tabela acima, a largura dos ombros e a espessura da parte frontal até à parte dorsal de uma pessoa são apresentadas por uma elipse com um eixo maior de aproximadamente 0,60m e um eixo menor de 0,46m e a elipse corporal ocupa 0,276m². Este valor engloba o valor da unidade de passagem mínima (de 0,60m, definida em função do efetivo e que considera a largura de ombro a ombro de um corpo humano adulto) imposto pelo D.L. n.º 220/2008.

O *FDS+EVAC* utiliza as características estocásticas para determinar as propriedades dos indivíduos e as dimensões do seu corpo assim como as velocidades de deslocamento distribuídas, por defeito, de acordo com o quadro acima. Contudo a quantidade de pessoas e sua tipologia pode ser alterada aquando da definição do parâmetro “PERS”, cf. o Quadro 4.3.

Relativamente ao tempo de pré-movimento o *FDS+EVAC* permite a estipulação de um tempo inicial em que os ocupantes não se movimentam mas por defeito é zero.

Desta forma, cada simulação apresenta resultados diferentes sendo recomendada a repetição de pelo menos 12 vezes da mesma simulação de evacuação para verificação da faixa de variação dos resultados.

4.1.1. Interação incêndio-ocupante

O incêndio influencia as condições de evacuação, pode incapacitar os ocupantes e em casos extremos bloquear os caminhos de evacuação. Por outro lado os ocupantes também podem influenciar o desenvolvimento do incêndio abrindo portas ou acionando dispositivos de proteção contra incêndios.

O *FDS+EVAC* apenas analisa o efeito dos gases no movimento dos ocupantes através do algoritmo de Frantzich e Nilsson (2003) que calcula a visibilidade das saídas de emergência e as categoriza em diferentes grupos de preferência.

A densidade do fumo é usada para desencadear a detecção de incêndio e para distribuir espacialmente os ocupantes após o início da simulação: o fumo reduz a velocidade de deslocamento dos ocupantes devido à visibilidade reduzida e aos seus efeitos irritante e asfixiante.

O algoritmo utilizado supõe que a velocidade de deslocamento com fumo em comparação com a velocidade de deslocamento sem fumo é igual para todos os agentes, independentemente das suas diferentes velocidades de deslocamento em movimento livre.

O efeito dos tóxicos na velocidade de deslocamento é dado por FED_{tot} , considerando-o para os gases CO , C_{CO_2} e O_2 , de acordo com a equação (4.1):

$$FED_{tot} = FED_{CO} \cdot HV_{CO_2} \cdot FED_{O_2} \quad (4.1)$$

De referir que a equação anterior não engloba o efeito do *HCN* e integra apenas o efeito do C_{CO_2} na hiperventilação apesar de também ser tóxico uma vez que a concentrações inferiores a 5% o C_{CO_2} não é tóxico e o seu efeito é considerado por estudar a respiração e aumentar o ritmo cardíaco do ocupante.

A dose incapacitante de CO é calculada pela equação (4.2) em que t é o tempo em segundos (s) e C_{CO} a concentração em partes por milhão (ppm), equação (4.2).

$$FED_{CO} = 4.604 \cdot 10^{-7} (C_{CO})^{1.036} t \quad (4.2)$$

A fração incapacitante do oxigénio é dada da mesma forma em que C_{O_2} é dado em percentagem de volume, equação (4.3).

$$FED_{O_2} = \frac{t}{60 \exp[8.13 - 0.54(20.9 - C_{O_2})]} \quad (4.3)$$

O fator de hiperventilação é calculado recorrendo à equação abaixo sendo que C_{CO_2} é a concentração de CO_2 no ambiente em percentagem, equação (4.4).

$$HV_{CO_2} = \frac{\exp(0.1930C_{CO_2} + 2.0004)}{7.1} \quad (4.4)$$

Considera-se um ocupante incapacitado quando o valor de **FED** excede a unidade: um ocupante incapacitado é modelado como um agente que não experimenta quaisquer forças sociais dos demais agentes e paredes e com velocidade de movimento zero. O tamanho de um agente incapacitado não é alterado, isto é, mantém-se em pé.

A altura padrão em que as concentrações de gases tóxicos são analisadas é de 1,6m acima do nível do piso, a alteração deste valor tem efeito sobre o cálculo do índice do **FED**: esta altura deverá ser ligeiramente acima das posições da cabeça dos ocupantes.

A produção de gases tóxicos durante a simulação também está dependente dos “inputs” definidos pelo utilizador do *FDS+EVAC*, nomeadamente no que respeita a entradas e saídas de ar/efeitos da climatização e ventilação dos ambientes em estudo.

4.1.2. Seleção de saídas de emergência

No modelo *FDS+EVAC* a seleção da saída de evacuação é baseada na análise da posição de cada ocupante em relação às saídas de emergência e à posição dos ocupantes do mesmo compartimento: cada ocupante seleciona a rota de evacuação que estima ser mais rápida/que minimiza o tempo de evacuação.

O tempo estimado de evacuação é o somatório do tempo estimado de percorrer a distância da rota de evacuação com o tempo estimado de espera em fila.

O tempo de percorrer a distância do percurso é calculada dividindo a distância a percorrer até à saída pela velocidade em movimento livre do ocupante. O tempo estimado de espera é calculado em função das ações e localização dos ocupantes, supondo que este apenas mudam a rota de evacuação se existir uma alternativa melhor do que a primeira.

Para além da localização das saídas e das ações dos outros ocupantes, outros fatores influenciam o processo de seleção da saída:

- Cenário de incêndio;
- Familiaridade das saídas de emergência que pode ser determinada pelo utilizador do *FDS+EVAC* ou determinada através de modelos probabilísticos diretamente pelo *FDS+EVAC* e,

- Visibilidade do percurso/saída de evacuação determinada pela propagação de gases tóxicos e da temperatura e de outros obstáculos à caminhada do ocupante. A partir do momento em que estão vigentes no ambiente condições letais no percurso para a saída de evacuação aquela deixa de ser considerada pelos agentes, o bloqueio das saídas de emergência por outros agentes ainda não é considerada.

O algoritmo de seleção das saídas consiste na seleção das saídas, que são separadas por grupos de preferência de acordo com o Quadro 4.2 e *a posteriori* pela seleção da saída mais favorável, a com menor tempo de evacuação.

Quadro 4.2 - Algoritmo de seleção de saída. (Fonte: Korhonen e Hostikka, 2009)

Grau de preferência	Visibilidade	Familiaridade	Ocupantes perturbados	Cor no Smokeview
1	sim	sim	não	preto
2	não	sim	não	amarelo
3	sim	não	não	azul
4	sim	sim	sim	vermelho
5	não	sim	sim	verde
6	sim	não	sim	magenta
Sem preferência	não	não	não	ciano
Sem preferência	não	não	sim	ciano

4.1.3. Grupos

No processo de evacuação considera-se o efeito dos grupos uma vez que pequenos grupos, como famílias tendem a agir em conjunto, comportamento que deverá ser considerado no modelo de evacuação por poderem alterar a direção e a velocidade de deslocamento do grupo, com especial incidência em dois momentos distintos aquando da reunião do grupo e durante a evacuação no deslocamento do grupo. O *FDS+EVAC* ainda não considera estes obstáculos ao movimento de um grupo.

O parâmetro que avalia a força social dos grupos pode ser definido através de metodologia própria ou ser utilizado o valor padrão de 0,3.

Lovreglio *et al.* (2014) estudaram a influência da seleção das saídas de emergência no movimento de evacuação comparando simulações de incêndio por computador e por treino concluindo que no processo de seleção da saída a heterogeneidade do público do edifício impõem diferentes decisões nomeadamente em termos de realidade socioeconómica validando os estudos de outros autores. Este estudo demonstrou ainda a importância da influência das dinâmicas de grupo como o comportamento de seguimento, a cooperação ou o comportamento egoísta.

Fang *et al.* (2003) estudaram o movimento de grandes grupos em situações de emergência, com base nos princípios dinâmicos das metodologias de cálculo definidas no capítulo 3 concluindo que a densidade de um grupo de pessoas influencia a velocidade individual através do constrangimento dos movimentos de frente/detrás e laterais e os primeiros são os que maior impacto têm no deslocamento e velocidade dos indivíduos, 10 vezes mais que o movimento lateral.

4.1.4. Critérios de avaliação da evacuação

O tempo de evacuação inclui o tempo de alarme, evacuação, tempo pré-movimento e tempo de ação na evacuação, como descrito nos capítulos 2.5 e 3.10 com vista a garantir que as condições humanas de sobrevivência são garantidas de acordo com a equação (4.5):

$$R_{ASET} > R_{RSET} \quad (4.5)$$

O tempo de referência para o cálculo de evacuação é a hora de início da simulação do FDS+EVAC que é zero, por defeito. As distribuições do tempo de deteção e pré-movimento são calculadas com base nesse instante, com base na equação (4.6) (Korhonen e Hostikka, 2009):

$$t_{movimento} = t_{início} + t_{deteção} + t_{pré-movimento} \quad (4.6)$$

O tempo de evacuação para comparação de dados de simulação é dado pela equação (4.7) que inclui um fator de segurança de 1,5 ao tempo de movimento, *cf.* Li-li *et al.* (2013):

$$R_{RSET} = t_{deteção} + t_{pré-movimento} + (1,5 \cdot t_{movimento}) \quad (4.7)$$

4.2. Inputs do programa

A operação de FDS baseia-se num único ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*). O arquivo de entrada fornece ao FDS todas as informações necessárias para descrever o cenário de incêndio e evacuação.

A informação no arquivo de entrada é introduzida recorrendo a um conjunto de funções (denominadas de *namelist*). Cada *namelist* deverá iniciar-se com o caracter “&” seguido de vírgulas que delimitam os parâmetros de entrada e terminar com o carater “/”. Os espaços em branco dentro de cada *namelist* não são permitidos podendo o espaçamento ser substituído por “_”. O exemplo seguinte define a *namelist* HEAD (denominação do ficheiro) e o título da simulação.

&HEAD CHID = 'Simulacao_FC',TITLE = 'Simulacao_de_incendio_v0' /

Uma vantagem do *FDS+EVAC* é a possibilidade de, ao longo do ficheiro de entrada, ser possível a introdução de comentários e notas, desde que não sigam o formato da *namelist*.

A definição de um arquivo de entrada não implica a utilização de todas as funcionalidades sendo apenas exigidas as de *HEAD* e *TAIL*: o programa assume um conjunto de dados padrão caso estes os restantes dados não sejam introduzidos.

O *FDS* baseia-se num conjunto de valores padrão que, quando não alterados, servem de base à simulação. O manual do utilizador do programa aconselha que estes apenas sejam introduzidos no ficheiro de entrada quando são diferentes do valor adotado pelo *FDS*.

A ordem de introdução das *namelists* é indiferente desde que se inicie com a *namelist* *HEAD* e finalize com a *TAIL*. Contudo é aconselhável que se organize o ficheiro de entrada de dados de forma sistemática, uma forma de organização é a introdução de dados por *namelists*.

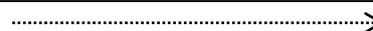
Quanto maior o conjunto de dados introduzidos no ficheiro de entrada maior o tempo de simulação, com efeito, o manual do programa alerta para o cuidado na introdução de dados.

O Quadro 4.3

Quadro 4.3 apresenta as *namelists* e respetivas funcionalidades de um ficheiro de entrada do *FDS+EVAC*. A cada *namelist* estão associados um conjunto de parâmetros de entrada que podem ser consultados em Macgrattan et al. (2013).

Quadro 4.3 - Funcionalidades do FDS+EVAC.

	Namelist	Descrição
Condições gerais de simulação	HEAD	Identificação do ficheiro.
	TIME	Parâmetros que definem o tempo de duração da simulação.
	MESH	Define as coordenadas (<i>x,y e z</i>) com base num ponto de referência.
	MISC	Inclui parâmetros que não tinham lógica de introduzir em outras <i>namelists</i> .
	INIT	Normalmente a simulação começa em <i>t=0</i> em condições ambiente contudo para simulações de maior complexidade poderá ser necessário alterar as condições ambiente.
	PRES	Define o número de interações.
	CLIP	Define limites superiores e inferiores de densidade, temperatura e fração de espécies.



	Namelist	Descrição
Geometria	SURF	Define o tipo de superfície de um objeto, incluindo em termos de condições ao fogo e temperatura.
	OBST	Define obstruções: que permitem criar objetos no modelo.
	HOLE	Cria aberturas em obstruções.
	VENT	Cria aberturas no ambiente que permitem a livre circulação de ar: pode ser utilizada para modelar componentes do sistema de ventilação como um difusor ou um retorno ou entradas de ar através de janelas.
	MULT	Permite multiplicar OBST, HOLE e VENTS num ficheiro de entrada.
Condições de fogo e temperatura	REAC	Definição do tipo de reação para a combustão.
	MATL	Define tipos de materiais a especificar na <i>namelist</i> SURF.
	RAMP	Define as propriedades térmicas dos materiais.
	SPEC	Define as espécies gasosas de um material.
Ventilação	HVAC	Define condições do sistema de aquecimento, ventilação e ar condicionado.
	ZONE	Define zonas específicas de pressão.
Radiação	RADI	Define os parâmetros de transferência de energia por radiação: utilizada principalmente quando a variação de temperatura é mínima, pode ser considerada residual e aumenta em cerca de 20% o tempo de simulação.
Partículas	PART	Define sólidos, líquidos e gases com características específicas definidas pelo utilizador, p.ex. fumo.
Comandos e controlos	DEVC	Define as características e posição de comandos e controlos como <i>sprinklers</i> e detetores de fumo.
	PROP	Define as características dos comandos e controlos como <i>sprinklers</i> , agulhetas de incêndio, detetores de fumo e de temperatura e sistema de deteção por feixe e por aspiração e criação e remoção de obstruções e aberturas em momentos específicos da simulação.
	CTRL	Define características de comandos mais complexos, como um sistema de AVAC.
	RAMP	Funcionalidade idêntica à função CTRL mas permite a variável de resposta <i>ao invés</i> de apenas se encontrar na posição de ligado ou desligado.
Dados de saída	DUMP	Define os critérios de taxa da informação enviada para os ficheiros de saída.
	PROF	Malha unidirecional colocada em l em cada célula limite para calcular a transferência de energia dentro de um sólido.
	SLCF	Malha unidirecional para a obtenção de dados sobre produtos gasosos em mais do que um ponto da simulação.
	BNFD	Permite o conhecimento das características da superfície das obstruções sólidas.
	ISOF	Permite a criação de contornos tridimensionais da fase gasosa.
Dados específicos do módulo de evacuação	PERS	Define o tipo de ocupantes.
	EVAC	Define a posição inicial dos ocupantes.
	EVHO	Define áreas que não podem ser ocupadas por agentes.
	EXIT	Define uma saída, removendo os agentes da simulação.
	ENTR	Define uma entrada, por entram agentes para o cálculo, numa frequência constante.
	DOOR	Define uma porta semelhante à saída mas os agentes não são removidos da simulação sendo colocados noutra parte do cálculo, p. ex. numa escada ou num compartimento diferente.
	CORR	Define escadas ou um corredor horizontal, utilizada para mover os agentes de um andar para o próximo, ou seja, a partir de uma malha principal de evacuação para outra.
	EVSS	Define uma inclinação como escadas possibilitando o estudo do movimento de evacuação através de escadas.

O ficheiro de entrada pode ser criado através de uma janela de visualização de dados como o *Pyrosim* que facilita a introdução de dados no ficheiro de entrada através de uma janela de visualização utilizando os comandos do FDS+EVAC. A primeira parte da Figura 4.2 exemplifica a interface utilizada por arquivo de texto do FDS+EVAC e a segunda a janela de visualização da interface gráfica *Pyrosim* do FDS+EVAC.

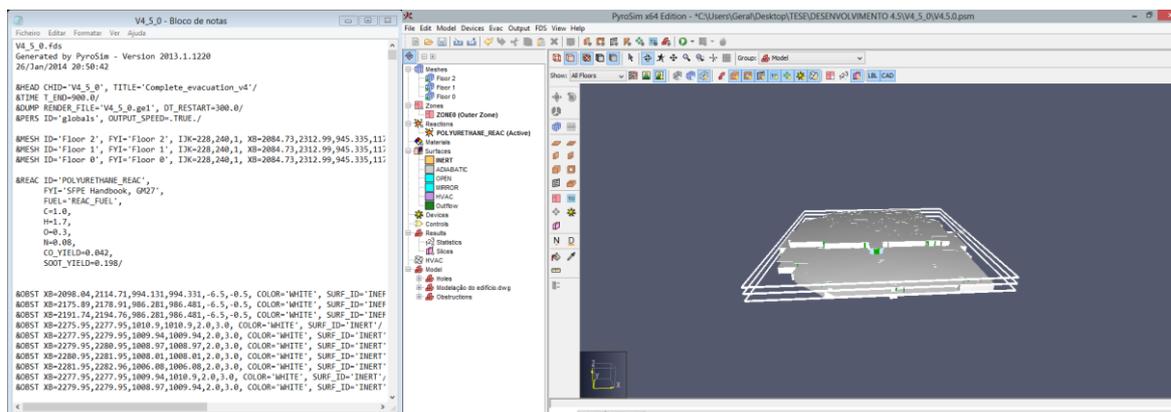


Figura 4.2 - Interface gráfica de arquivos de entrada do FDS+EVAC com o FDS+EVAC e a janela de visualização do Pyrosim, respetivamente. (Fonte: Pyrosim, 2014)

O cálculo de incêndio e evacuação é realizado através de malhas computacionais (malhas). Cada objeto da simulação deverá estar enquadrado numa malha e quando a localização de um objeto não é englobada numa malha este é reposicionado automaticamente durante a simulação e qualquer objeto que se estende para além do domínio da malha não é considerado para efeitos de simulação com efeito não são incluídos no programa de visualização integrado no FDS+EVAC, o Smokeview.

A eficiência da simulação está largamente associada à definição da malha sendo mais precisa quanto as células das malhas tenham dimensões nas direções x, y e z mais próximas. O *Pyrosim* permite a verificação da eficácia das malhas através da equação de Poison conforme Macgrattan (2013). No FDS+EVAC as malhas de incêndio e de evacuação são separadas possibilitando que apenas se realize simulação de incêndio, apenas de evacuação ou de ambos ativando ou desativando malhas.

O FDS+EVAC permite, assim, a definição de várias malhas que podem estar ou não ligadas entre si. A utilização de várias malhas permite o processamento em paralelo do FDS com outros MPI's computadores, quando se pretende estudar fenómenos com detalhe utilizando várias malhas.

Como cada malha pode ter diferentes exigências esta técnica pode economizar tempo de processamento definindo malhas grosseiras para a parte da simulação que se pretende menor precisão e rigorosas para aquelas em que a precisão é exigida.

Para a definição de uma malha, para além da sua geometria deve-se definir o seu alinhamento, a prioridade da malha, devem ser inseridas da mais precisa para a menos e os limites da malha evitando definir limites onde são espectáveis ações críticas.

As informações sobre outras malhas apenas são perceptíveis nos limites exteriores de cada malha com efeito uma malha que está totalmente incorporada dentro de outra recebe informações do seu limite exterior contudo a malha maior não recebe informação da menor e por isso detalhes da malha fina principalmente relacionados com o crescimento do incêndio não são consideradas na malha com menor precisão.

O Quadro 4.4 identifica os principais parâmetros inerentes à *namelist* MESH, essencial à simulação.

Quadro 4.4 - Principais parâmetros da *namelist* MESH.

Parâmetro	Descrição	Unidades
EVACUATION	Define que a malha engloba evacuação.	-
EVAC_HUMANS	Define as malhas de evacuação incluem agentes.	-
EVAC_Z_OFFSET	Define a distância a partir do meio da altura de uma malha de evacuação principal para o piso. Este parâmetro é utilizado para visualização dos agentes no Smokeview para que os pés dos agentes estejam no piso (o padrão é 1,0 m) e para definição do nível do piso de referência para o fumo e cálculo do FED.	m
IJK	Divisão das células da malha.	m
XB	Coordenadas da malha de acordo com o método de divisão das malhas.	m

As *namelists* OBST, HOLES e VENTS são utilizadas maioritariamente para a definição da geometria do edifício desenhando barreiras sólidas como paredes, tetos e pisos, para desenhar aberturas em superfícies como portas em paredes e definir partes de uma obstrução com superfície distintas, respetivamente- A *namelist* VENTS foi utilizada para definir as EXITS e o queimador. O Quadro 4.5 apresenta os principais parâmetros das *namelists* OBST, HOLE e VENTS:

Quadro 4.5 - Principais parâmetros das *namelists* OBST, HOLE e VENTS.

Parâmetro	Descrição
DEVC_ID	Define um comando para o objeto (p. ex. VENT ativa-se ao momento t)
EVACUATION	Define se a <i>namelist</i> é aplicável ao módulo de EVAC.
SURF_ID	Define o tipo de superfície de um objeto incluindo em termos de condições ao fogo e temperatura, aplicável para as <i>namelists</i> OBST e VENT
IOR	Define a direção da VENT.
XB	Coordenadas dos objetos.

A definição da superfície dos objetos, *namelist SURF*, identifica principalmente a forma de transferência de energia e é necessária às *namelists HOLE* e *VENT*. O FDS define quatro tipo de superfícies e o utilizador definir outras através da criação de materiais através da *namelist MATL*:

- *Inert* é a superfície padrão do FDS em que não há transferência de energia permanecendo a temperatura da superfície à temperatura ambiente e a transferência de energia realiza-se através dos gases da superfície;
- *Mirror*, superfície utilizada apenas para aberturas no limite da malha exterior;
- *Adiabatic* é a superfície em que não há transferência de energia por radiação e convecção, permanecendo a superfície do objeto à temperatura inicial;
- *Open* é a superfície utilizada apenas para aberturas no limite da malha exterior. Utilizada para modelar uma abertura passiva para o exterior como portas e janelas abertas.
- *HVAC* é a superfície utilizada para aberturas do sistema de ventilação.

O *Pyrosim* define outras superfícies, das quais se destaca o *burner* que representa o queimador, com características que podem ser modificadas pelo utilizador como a taxa de libertação de energia por unidade de área.

Para a definição do incêndio é necessário definir uma *VENT* com a geometria da fonte de ignição e com a superfície com as características de um queimador e ainda a reação a ocorrer.

As características iniciais de incêndio são determinadas pela análise dos produtos envolvidos, da geometria do edifício e das aberturas do compartimento de incêndio. Existem diversas metodologias de cálculo da taxa de libertação de energia, a utilizada foi a baseada na taxa de libertação de energia padrão na fase de crescimento e no desenvolvimento do incêndio.

A taxa de libertação de energia pode ser dada pela equação abaixo em que \dot{Q} é taxa de libertação de energia (kW), α o coeficiente de crescimento de incêndio (kW/s²) e t o tempo (s), equação (4.8).

$$\dot{Q} = \alpha t^2 \tag{4.8}$$

A taxa de libertação de energia de referência (Q_0) é 1055kW e t_x o tempo necessário para atingir Q_0 . De acordo com Quintiere e Karlsson (2000) e a NP EN 1990-1-2 (2010) os valores da taxa de crescimento de incêndio para atingir os 1055kW são dados em função das ocupações de acordo com o Quadro 4.6 e equação (4.9).

$$Q = 10^6 \left(\frac{t}{t_a} \right)^2 \tag{4.9}$$

A taxa de libertação de energia de pico 5 MW é considerada para salas mais pequenas, como os de escritórios, apartamentos e unidades de saúde. A taxa de libertação de energia máximo 10 MW é baseado no valor de centros comerciais.

Quadro 4.6 - Design de incêndio em função do tipo de ocupação.

Ocupação do edifício	Taxa de crescimento do incêndio	Tempo necessário para atingir uma taxa de libertação de energia de 1055kW t_a [s]	Fator de crescimento de incêndio, [kW/s ²]	HRR pico [kW]	HRRPUA, Q'' [kW/m ²]
Habitação	Média	300	0.012	5.000	250
Escritórios	Média	300	0.012	5.000	250
Quarto de hospital	Média	300	0.012	5.000	250
Quarto de hotel	Média	300	0.012	5.000	250
Biblioteca	Rápida	150	0.047	5.000	500
Sala de aula se uma escola	Média	300	0.012	5.000	250
Centro comercial	Rápida	150	0.047	10.000	250
Teatro e cinema	Rápida	150	0.047		500
Gares de transporte	Lenta	600	0.003	600	250

Contudo os valores apresentados no quadro acima são distintos de outros autores como Hietaniemi e Mikkola (2010). O HRRPUA varia de acordo com o conteúdo do compartimento e em espaços comerciais é difícil de determiná-lo, variando de acordo com a área de negócio do espaço comercial: alimentação e produtos de limpeza, têxteis, decoração, mobiliário, brinquedos, livrarias, eletrónica e entretenimento, por exemplo.

Bennett et al. (1989) realizaram ensaios ao fogo de grande escala com o objetivo de caracterizar incêndios em centros comerciais definindo taxas de libertação de energia por unidade de área distintas, como apresentado no Quadro 4.7. Durante os ensaios, foram atingidas taxas máximas de libertação de energia elevadas (entre 40 e 50MW).

Quadro 4.7 - Taxa de crescimento de incêndio por unidade de área em superfícies comerciais.

HRRPUA, Q'' [kW/m ²]	Descrição do edifício
150 kW/m ²	Corresponde tipicamente a incêndio com materiais celulósicos, tais como madeira e produtos de papel.
300 kW/m ²	Corresponde a carga de incêndio celulósicas e a alguns plásticos pouco combustíveis. As cargas de incêndio inerentes a mobiliário podem ser inseridas nesta categoria ou na seguinte.
500 kW/m ²	Corresponde a cargas de incêndio como misturas de celulose e plásticos altamente combustíveis. As cargas de incêndio inerentes a mobiliário também podem ser inseridas nesta categoria.
1.000 kW/m ²	Corresponde a carga de incêndio de mistura de quantidades elevadas de plásticos altamente combustíveis com outro (P. ex: caixas de papelão).
2.000 kW/m ²	Corresponde a uma carga de incêndio com elevada percentagem de materiais altamente combustíveis.

A fase de crescimento do incêndio é limitada pelo patamar horizontal correspondente ao estado estacionário e a um valor da taxa de libertação de energia, calculada pela equação (4.10):

$$\dot{Q} = HRR_f \cdot A_{fi} \quad (4.10)$$

Em que A_{fi} é a área máxima de incêndio (m²) ou seja o compartimento de incêndio no caso de uma carga de incêndio uniformemente distribuída mas poderá ser menor no caso de um incêndio localizado e HRR_f a taxa máxima de libertação de energia produzida por 1m² de incêndio no caso de um incêndio ser controlado pelo combustível.

O patamar horizontal é limitado pela fase de arrefecimento que tem início quando 70% da carga de incêndio total foi consumida.

Relativamente à evacuação é pertinente a definição dos parâmetros das *namelists* apresentadas no Quadro 4.3 em função das *namelists*, conforme descrito por Korhonen e Hostikka (2009).

4.3. Limitações do FDS+EVAC

O FDS+EVAC apresenta, contudo ainda algumas limitações que poderão afetar os resultados da investigação.

O FDS+EVAC encontra-se vocacionado para edifícios com pisos maioritariamente horizontais e geometrias simples.

Outra limitação do FDS+EVAC é o fato de o programa não suportar a utilização de elevadores durante o processo de evacuação. Os pisos são distinguidos através de escadas verticais, escadas rolantes, rampas ou portas. A possibilidade única de desenhar malhas retilíneas que poderão impedir que alguns pontos do edifício não sejam analisados. Acresce ainda o facto das células de malha não assumirem tamanhos pequenos (a partir de 0,25m).

Os caminhos de evacuação devem ter pelo menos 0,70m somente assim o FDS+EVAC permite a mobilização dos agentes de evacuação para aquele caminho. E o número máximo de agentes de evacuação suportado é de 10.000 por malha e a densidade inicial de agentes não pode ser superior a 4 p/m².

Em termos de geometria de edifício no processo de evacuação é considerado que este se mantém nas condições inicialmente definidas: não é possível suportar qualquer alteração à rota de evacuação prevista.

Quando o FDS+EVAC simula conjuntamente incêndio e evacuação permite o estudo de incêndio e evacuação. As concentrações de fumo e de outros gases podem afetar a decisão no processo de evacuação. No entanto, os ocupantes também podem influenciar a propagação do incêndio, p. ex através da abertura de portas, contudo estas possibilidades ainda não são previstas pelo programa.

O FDS+EVAC prevê, no entanto, que as concentrações de O₂, CO₂ e CO (excluindo os efeitos tóxicos de CO₂ e qualquer efeito do HCN ou HCL) sejam utilizadas para calcular o FED indicando o índice de incapacidade humana, com base nos resultados da experiência por Frantzich e Nilsson (2003). Em escadas quando a concentração é elevada o programa não permite aos ocupantes inverter a direção da rota inicialmente traçada. O FED é também utilizado para diminuir a velocidade de deslocamento dos ocupantes, afetar o algoritmo de seleção de saída dos agentes e para acelerar o processo de deteção de incêndio. Os efeitos da radiação e da temperatura do gás nos ocupantes ainda não foram incluídas.

O FDS+EVAC não permite a definição de posições e propriedades iniciais dos ocupantes, utilizando para o efeito números aleatórios pelo que é desejável que sejam realizadas várias simulações para validação de resultados.

O tempo de deteção é definido pelo utilizador através de dados de deteção e tempos de reação podendo também ser definido pela concentração de fumo no local.

O algoritmo de seleção de porta de saída é simples não incluindo qualquer tipo de interação social mas o utilizador pode definir as saídas de emergência a utilizar pelos ocupantes. O Smokeview ainda não permite uma visualização completa do processo de evacuação, podendo ser ocultadas neste algumas obstruções à evacuação.

4.4. Considerações finais

De entre os vários modelos de simulação computacional para o estudo da evacuação integrado de incêndio, face ao objetivo do estudo e às características do modelo de simulação selecionou-se o FDS+EVAC utilizando as janelas de visualização de dados Smokeview e de introdução de dados *Pyrosim*.

A utilização da interface gráfica *Pyrosim* não dispensa a compreensão das funcionalidades do FDS+EVAC contudo facilita a modelação da simulação e sua visualização nomeadamente quanto à introdução de dados de geometria e incêndio.

O estudo do FDS+EVAC permite concluir que este programa, apesar das limitações apresentadas, é adequado ao objeto de estudo, desde que suportado previamente no estudo dos manuais técnicos, fórum *online* do programa e exemplos de treino disponibilizados pelo NIST e *VTT* compreendendo as diferentes ferramentas do programa de simulação, de *namelists* e seus parâmetros e minimizando erros inerentes à introdução de dados de simulação.

O FDS+EVAC assume um conjunto de funções numéricas quanto à interação agente-ambiente envolvente, à seleção dos caminhos de evacuação pelos agentes e à força social que permitem o cálculo do tempo de evacuação que representa o somatório do tempo estimado para percorrer a distância da rota de evacuação com o tempo estimado de espera em fila. A seleção da saída de evacuação é baseada na análise da posição de cada ocupante em relação às saídas de emergência e à posição dos ocupantes do mesmo compartimento em que cada ocupante seleciona a rota de evacuação que estima ser mais rápida.

A definição dos dados de entrada de simulação e a sua introdução constitui, à parte da análise dos dados de saída, a ferramenta primordial da simulação de incêndio. É importante que os dados sejam devidamente fundamentados em informação técnica e a sua introdução intervalada de simulações intermédias, validando-a.

5. ESTUDO DE CASO: SHOPPING CENTER FÓRUM COIMBRA

A utilização de espaços comerciais de grandes dimensões é uma realidade à escala mundial. O dimensionamento das vias de evacuação dos espaços comerciais encontra-se regulamentada contudo é interessante analisá-lo assim como os tempos de evacuação com vista à melhoria contínua do processo de evacuação identificando oportunidades de melhoria.

A realização de exercícios de treino de evacuação para os ocupantes não invalida recorrer a programas de simulação e o inverso: um é complementar do outro. O primeiro é fundamental para o treino dos ocupantes do edifício e sua sensibilização e o segundo permite através de análises numéricas integradas a avaliação da eficácia dos primeiros assim como na fase de projeto avaliar os tempos de evacuação em função do dimensionamento dos caminhos de evacuação.

A oportunidade de estudar um edifício comercial surge no âmbito da necessidade de estudar a evacuação em edifícios que recebem público. A utilização de grandes superfícies comerciais é uma tendência e a existência de um centro comercial com a administração disponível para a colaboração no estudo foi fundamental: a *Multi Mall Management* (MMM) disponibilizou o Fórum Coimbra (FC).

O capítulo caracteriza, sucintamente o enquadramento do edifício em estudo no âmbito da segurança ao incêndio e definição dos cenários de evacuação a simular e respetiva análise dos resultados.

O edifício objeto do estudo é de geometria complexa com pisos destinados a estacionamento intermédio. De forma a facilitar a introdução e análise da geometria no programa de simulação a utilizar procedeu-se a simplificações no edifício nomeadamente quanto ao número de pisos retirando os pisos intermédios destinados ao estacionamento.

Para efeitos de simulação não foram considerados os equipamentos de AVAC e o sistema de extinção de incêndio. A atuação do sistema de deteção automática foi estimada apenas junto ao foco inicial de incêndio. Não são tecidas quaisquer observações relativamente às condições exteriores do edifício, limitações à propagação do incêndio pelo exterior e às condições de reação ao fogo porque não se consideraram relevantes para o desenvolvimento do projeto.

5.1. Descrição do edifício

A informação foi recolhida inicialmente com recurso ao plano de emergência interno versão de 2009, numa reunião de exposição do projeto com os Eng.º Aurélio Carvalho e José Carvalho responsáveis pelo centro comercial, na troca de emails com a Eng.ª Filipa Pereira delegada de segurança, *in loco* e pela Revista Fórum (de Abril de 2006 disponível online).

Posteriormente, em sede de reunião prévia de apresentação dos resultados obtidos foi fornecido o plano de segurança interno datado de 31 de Outubro de 2012. Os dados relativos aos procedimentos de atuação e emergência divergentes nos dois planos citados foram alterados encontrando-se expostos neste projeto os atualizados. Contudo, no que concerne à área e efetivo de público correspondente a cada utilização tipo não foi realizada qualquer alteração face às calculadas no capítulo 5.1.3.

O estudo está sujeito a um acordo colaboração entre a Universidade de Coimbra e a MMM (*Multi Mall Management*) datado de Abril de 2012, que o submete a confidencialidade.

Conforme o n.º 1 do art.º 34 do Decreto-Lei n.º 220/2008 de 12 de Novembro, Regulamento Jurídico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios ao edifício em estudo não são aplicadas as exigências nele constante. Contudo o edifício não está dispensado da apresentação das medidas de autoproteção implementadas de acordo com a Portaria n.º 1532/2008 de 29 de Dezembro, Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios.

De acordo com o Decreto-Lei n.º 258/1992 de 20 de Novembro com as alterações introduzidas pelo Decreto-Lei n.º 83/1995 de 26 de Abril o edifício é considerado uma grande superfície comercial. A Agência Portuguesa de Centros Comerciais (orientada pelo *International Council of Shopping Centers*) classifica o edifício como centro comercial tradicional muito grande uma vez que o seu formato inclui retalho indiferenciado integrado num empreendimento fechado com área bruta locável superior a 80.000m².

O tempo de evacuação estimado para o edifício é de trinta minutos incluindo zonas de estacionamento assumido de acordo com os exercícios de treino efetuados no edifício e comunicados pela MMM um em 2011 e outro em 2013. No exercício de treino de 2011 simulou-se um incêndio na sala técnica dos cinemas do qual resultaram três feridos: um ferido na casa de banho dos cinemas, um segundo ferido no local do incêndio e um terceiro ferido na casa de banho do piso 0 da área comercial. Não foi disponibilizado o relatório de simulacro deste exercício.

No dia 17 de Outubro de 2013 foi simulado um incêndio na loja “Primark” com acionamento do detetor de incêndio e de alarme na central de deteção de incêndio com existência de dois feridos. Desde o início da transmissão da mensagem de evacuação (minuto 08) até à confirmação da evacuação total do centro comercial (minuto 33) decorreram 25 minutos.

Os exercícios de treino têm por objetivo o desenvolvimento dos procedimentos necessários à extinção do incêndio e evacuação total do edifício. Nos simulacros estiveram presentes entidades externas de socorro: os Bombeiros Sapadores de Coimbra, os Bombeiros Voluntários de Coimbra e de Brasfeme, a Polícia de Segurança Pública, a Polícia Municipal de Coimbra e o Centro Distrital de Operações de Socorro de Coimbra treinando-se a interligação e a coordenação de ações entre os responsáveis de segurança do FC e as entidades.

5.1.1. Descrição funcional do edifício

O edifício a estudar é o Fórum Coimbra cuja entidade exploradora é a *Multi Mall Management*, responsável pela organização e manutenção dos espaços partilhados e dos espaços de administração.

O FC é um edifício destinado a receber público dedicado à atividade comercial. É composto por sete pisos distribuídos numa área total de aproximadamente 150.000m² com a ocupação constante no Quadro 5.2. Dois pisos abaixo do plano de referência destinados, principalmente, a estacionamento e a áreas técnicas e os restantes acima daquele destinados a estacionamentos fechados e/ou abertos, zonas comerciais e espaços administrativos.

O edifício é delimitado pela Rua José Bonifácio de Andrade e Silva que circunda o edifício possibilitando três entradas distintas de viaturas e peões: a norte, a oeste e a este. Os acessos encontram-se devidamente alcatroados e dotados de passeios laterais, existe ainda junto ao edifício uma paragem rodoviária.

O FC possui cinco entradas/saídas no edifício não controladas destinadas à receção de público e duas entradas/saídas controladas utilizadas por fornecedores e pela administração. Os utilizadores do centro comercial podem entrar pelas cinco portas ou através dos pisos inferiores. Para efeitos de simulação consideraram-se as quatro entradas não ligadas ao estacionamento coberto e as demais saídas de evacuação diretas ao exterior como será apresentado no capítulo 5.1.4.

Nos espaços afetos à administração, com exceção do público, nos dias úteis das 09h00 às 18h00 encontram-se 23 colaboradores que poderão movimentar-se por todo o edifício, aos que acrescem os funcionários das lojas e público do centro comercial, a calcular no capítulo 5.1.3.

5.1.2. Enquadramento do estudo na regulamentação nacional

O edifício é, conforme o n.º 1 do art.º 1 do anexo I do RT-SCIE, um edifício de média altura (24m), sendo que a altura dos pisos foi a comunicada pela MMM, de acordo com o Quadro 5.2.

O plano de segurança interno do FC classifica a categoria de risco de cada utilização-tipo existente na instalação da seguinte forma:

Quadro 5.1 - Identificação da categoria de risco de cada utilização-tipo existente na instalação, de acordo com o plano de segurança interno de 31 de Outubro de 2012.

UT	Área (m ²)	Ao ar livre?	Altura da UT (m)	N.º de pisos abaixo do plano de referência	CR
II	64.653	Não	4	0	4 ^a
II	9.859	Sim	-	-	1 ^a

UT	Área (m ²)	Altura da UT (m)	N.º de pisos abaixo do plano de referência	Efetivo	Efetivo em locais de risco E	CR
VI	2.402	0	0	1.518	-	3 ^a
VII	2.875	0	-	575	Não aplicável	3 ^a
VIII	52.291	8	0	27.320	-	4 ^a
IX	880	0	0	880	-	2 ^a

Os valores de área, altura e efetivo identificados no plano de segurança interno do FC de 31 de Outubro de 2012 não foram considerados para efeitos de cálculo do efetivo e categorias de risco, uma vez que os mesmos foram disponibilizados na fase final do projeto.

No modelo computacional consideraram-se somente as áreas destinadas à atividade comercial, excluindo-se as destinadas a estacionamento de viaturas e áreas técnicas, obtendo-se três pisos de estudo: os pisos 0, 1 e 2, *cf.* Quadro 5.2. Porque a evacuação das zonas afetadas ao estacionamento é distinta das afetadas à atividade comercial, isto é, após a ordem de evacuação geral do edifício, as entradas de acesso do estacionamento ao espaço comercial são automaticamente encerradas.

Considerou-se que as lojas têm 6m em que 4m constituem o pé direito do edifício e 2m a estrutura de teto falso. E as circulações comuns têm 6m de altura, mantendo-se as alturas indicadas pelo FC.

Quadro 5.2 - Caracterização do edifício e da sua inclusão no estudo.

Piso	Descrição	Área (m ²)	Altura (m)	UT	Inclusão no estudo
-2	Áreas técnicas incluindo a central de bombagem da rede de incêndios	NA	4	AT	Não
-1	Gerador de emergência de serviços comuns Gerador de emergência do estacionamento Outras áreas técnicas Estacionamento subterrâneo de viaturas	NA	3	AT II	Não Não Não Não
0	Posto de transformação do "Continente" Compactador de resíduos Estacionamento subterrâneo de viaturas Área comercial incluindo três lojas âncora	NA 26.219,48	3	AT II VIII	Não Não Não Sim
0A	Estacionamento de viaturas	NA	3	II	Não
1	Estacionamento subterrâneo de viaturas Área comercial incluindo três lojas âncora Administração incluindo central de segurança	NA 18424,65 1980,87	3	II VIII III	Não Sim Sim
1A	Estacionamento subterrâneo de viaturas	NA	3	II	Não
2	Restauração e bowling Cinema (loja âncora) Estacionamento de viaturas ao ar livre	2718,56 1500 lug. NA	3 - -	VII VI II	Sim Sim Não
2 ^a	Cobertura com áreas técnicas	NA	2	AT	Não

De acordo com o art.º 8 do DL. n.º 220/2008 o Fórum Coimbra é um edifício de utilização mista, nomeadamente de utilização tipo II estacionamentos, VI espetáculos e reuniões públicas, VII hoteleiros e restauração e VIII comerciais e gares de transportes.

Neste estudo não são incluídos os espaços destinados à UT II e áreas técnicas, considerando-se para efeitos de modelação que aqueles espaços não influenciam no desenvolvimento do incêndio e na gestão da emergência, como anteriormente mencionado uma vez que os sistemas de proteção e combate ao incêndio destes espaços são distintos dos destinados à atividade comercial. Nos termos do quadro VII do anexo III do DL. n.º 220/2008, o edifício é considerado um edifício da 4^a categoria de risco, risco muito elevado, porque a UT VII tem efetivo superior a 5.000 ocupantes, classificado de acordo com o art.º 12 e o n.º 5 do art.º 13 do regulamento.

De acordo com o D.L. n.º 220/2008 sendo o edifício da 4^a categoria de risco deverão as entidades gestoras dos espaços, a MMM para os espaços comuns e a entidade gestora de cada loja, desenvolver medidas de organização e gestão da segurança, também designadas de medidas de autoproteção.

As medidas de autoproteção exigem a designação de responsáveis de segurança para cada UT que deverá ser o proprietário do espaço ou um representante da entidade gestora daquele espaço e de um responsável de segurança para os espaços comuns às várias UT's da responsabilidade da entidade gestora dos espaços comuns.

A Figura 5.1 exemplifica uma, entre as várias medidas constantes no plano de prevenção do FC: corresponde ao testemunho de identificação dos colaboradores das lojas, que entregar ao coordenador geral da evacuação presente no ponto de reunião servindo de comprovativo à evacuação total do espaço pelo qual o lojista está responsável, a sua loja. No ponto de reunião o coordenador tem na sua posse uma checklist de verificação de entrega dos testemunhos de todas as lojas, sendo somente definido o final da evacuação após a entrega de todos os testemunhos. Na ausência do responsável pela loja, é comunicado ao responsável pela segurança que verifica o estado da evacuação da loja.

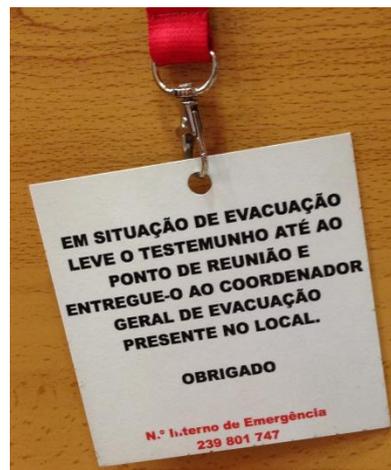


Figura 5.1 - Testemunho dos funcionários a utilizar em caso de evacuação do FC.

Relativamente às medidas exigidas no âmbito do cumprimento do RT-SCIE deverão ser mantidos e atualizados os registos de segurança assim como o plano de prevenção e o plano de emergência interno devidamente comunicado aos seus destinatários no prazo máximo de 60 dias após a sua entrada em serviço e por meio de ações de sensibilização e formação.

A realização de simulacros deverá ter periodicidade anual e a equipa de segurança deverá, no mínimo, ter 8 elementos, sendo que o delegado de segurança com funções de chefia deverá desempenhar as suas funções enquanto houver público presente. A entidade gestora do centro comercial é responsável pela realização das inspeções anuais periódicas ao edifício, *cf.* Capítulo 5.1.6.

Todos os locais de risco com interesse para o desenvolvimento da simulação de incêndio com exceção dos espaços interiores de cada fogo e as vias horizontais e verticais de evacuação foram definidos em conformidade com o art.º 10 do DL. 220/2008 e as orientações constantes no Caderno Técnico PROCIV 13 (2010).

No edifício foram definidos em função da natureza do risco locais de risco A, B, C e F. Na análise os fatores com maior preponderância foram o efetivo de público e o tipo/importância de atividade desenvolvida no espaço, como definido no Quadro 5.3.

Quadro 5.3 - Classificação da natureza do risco dos locais do edifício.

		Locais de risco			
		A	B	C	F
Efetivo	Total	≤ 100	> 100	-	
	Público	≤ 50	> 50	-	
	Incapacitados e crianças até 6 anos	≤ 10%		-	
Risco agravado de incêndio		Não		Sim	-
Continuidade das atividades socialmente relevantes		-			Sim

Com base nos critérios acima as lojas com efetivo superior a 50 visitantes foram classificadas como local de risco B e as com efetivo de público igual ou inferior a 50 como local de risco A, os espaços de restauração como locais de risco C, conforme poderá ser consultado no anexo III.

Para edifícios comerciais, o art.º 267.º define que o dimensionamento das saídas de emergência de lojas com efetivo previsto superior a 700 deverá prever que a evacuação de 2/3 do efetivo se processa diretamente para o exterior ou para vias de evacuação protegidas que acedam ao exterior.

Em função da caracterização dos locais de risco existe um conjunto de exigências regulamentares nomeadamente quanto ao comportamento ao fogo, isolamento e proteção de portas, paredes e vãos. Contudo e apesar de tais características assumirem um papel fundamental na garantia das condições de sobrevivência durante a evacuação, como anteriormente referido, face ao objetivo deste estudo, as exigências regulamentares não serão descritas pormenorizadamente.

Para efeitos de simulação recorreu-se às superfícies padrão do FDS (*inert*), simplificando a entrada e saída de dados. Uma vez que o objetivo do estudo não é estudar as condições de desenvolvimento e propagação de incêndio, este fator não é relevante para os dados que se pretendem analisar.

Para cumprimento do prescrito no capítulo II do RT-SCIE o edifício deve ser dividido em diferentes compartimentos corta-fogo com área não superior a 1600m² e em número suficiente para garantir o isolamento. Assim como a proteção dos locais existentes nesses pisos deverá impedir a propagação do incêndio ou atuar de forma a fracionar a carga de incêndio e contribuir para o bom desempenho dos elementos estruturais (lajes, pilares e vigas) ao incêndio e tem de ser, no mínimo, REI120.

O ficheiro de arquitetura disponibilizado não define os limites dos espaços destinados a armazém e por observação no local verifica-se que no edifício existem vários espaços destinados ao armazenamento de mercadoria sendo que vários se encontram devidamente compartimentados através de portas com resistência ao fogo desconhecida.

Como por exemplo o talho e a padaria do hipermercado assim como vários estabelecimentos destinados à venda a retalho de vestuário e outros bens, como se exemplifica na Figura 5.2. Estas portas em algumas situações são também incluídas no PEI como saídas de emergência para vias de evacuação horizontais.



Figura 5.2 - Saída de emergência de uma loja âncora e duas do hipermercado do FC.

Para a simulação computacional, os compartimentos foram delimitados com base nas áreas das lojas e por laterais. Cada compartimento é circundado pelo menos por uma via horizontal de evacuação, como verificável no anexo I. Este estudo foi necessário para a definição da posição inicial dos ocupantes uma vez que a definição loja a loja não tornava viável a simulação: com recurso à compartimentação foi possível agrupar os ocupantes relativamente à sua localização no edifício.

Com exceção do piso 2 em que cada cozinha representa um compartimento corta-fogo distinto e o espaço de restauração é considerado um local de risco C para efeitos de isolamento e proteção, identificado como zona de perigo no PEI do FC e dotado de controlo ativo de fumo nas cozinhas e painéis de cantonamento entre a cozinha e o espaço de restauração *cf.* o n.º 2 do art.º 21 do RT-SCIE. Nas cozinhas e espaços de restauração procurou-se posicionar os ocupantes de tal forma a que não fossem ocupados os espaços destinados às cozinhas.

Para paredes do edifício que confinam com os pátios interiores, praça Terra e praça Água, montras das lojas que estão interligadas com caminhos de evacuação o requisito mínimo de limitação de propagação do fogo é de EI30 conforme a alínea b), do n.º 1 do art.º 19 da Portaria 1532/2008. O isolamento e proteção dos locais de risco é definido nos artigos 20.º, 21.º e 24.º do RT-SCIE, no Quadro 5.4.

Quadro 5.4 - Isolamento e proteção de locais de risco.

	A	B	C	F
Paredes não resistentes	-	EI30	EI60	EI90
Pisos e paredes resistentes	-	REI30	REI60	REI90
Portas	-	E15	E30C	E45C

As vias de evacuação horizontais protegidas ligadas às circulações comuns e às saídas alternativas das lojas são corredores técnicos com características de isolamento igual aos locais de risco C que com eles comunicam, *cf.* o art.º 21 do RT-SCIE. Com comunicação a ser realizada por câmara corta-fogo, isolamento relativamente às escadas por paredes e portas com resistência ao fogo *cf.* o art.º 27 do RT-SCIE, isolamento e proteção relativamente aos elevadores realizado por câmara corta-fogo com resistência ao fogo *cf.* o art.º 35 do RT-SCIE, selagem das tubagens e cablagens nos atravessamentos das paredes da fronteira corta-fogo, obturação automática nas fronteiras corta-fogo de eventuais condutas que as atravessam, *cf.* o Quadro 5.5.

Nestas vias horizontais de evacuação devem ainda existir os necessários meios de combate a incêndio tais como bocas-de-incêndio, colunas húmidas, extintores e *sprinklers* de acordo com as condições estabelecidas no título VI do RT-SCIE, sistema automático de deteção de incêndios de acordo com o capítulo III, do título VI do RT-SCIE e sistema de desenfumagem previsto no art.º 157 do RT-SCIE.

Quadro 5.5 - Isolamento e proteção de local de risco C, vias verticais e elevadores.

	Isolamento e proteção		
	Local de risco C (art.º 21)	Vias verticais (art.º 27)	Elevadores (art.º 35)
Paredes não resistentes	EI60	EI30	EI60
Pisos e paredes resistentes	REI60	REI30	REI60
Portas	E30C	E15C	E30C

As vias de evacuação verticais exteriores não têm qualquer exigência e as interiores deverão respeitar as disposições regulamentares do art.º 26 do RT-SCIE nomeadamente de portas de acesso E30C.

O isolamento da interligação entre os estacionamento cobertos e a zona comercial é realizado por meio de painéis de vidro (EI30) com caixilharias (REI30) seladas com a envolvente construtiva com materiais intumescentes, auxiliada por cortinas de água, com um caudal mínimo de irrigação de 10l/minutos/m² complementadas por *sprinklers* e cujo funcionamento não será discriminado por não se considerar relevante para o desenvolvimento da simulação de incêndio, alimentadas pelo depósito da rede de incêndio armada e fechada na CDI ou manualmente. Considera-se para o efeito de cálculo que o tempo disponível para a evacuação do edifício (ASET) de 30 minutos (1800 segundos).

O n.º 4 do art.º 26.º prevê a existência de câmaras corta-fogo no piso abaixo do plano de referência sendo obrigatória a colocação de duas câmaras corta-fogo junto às VVE nos pisos abaixo do plano de referência com área mínima de 3m², distância mínima entre portas de 1,2m, pé-direito não inferior a 2m, dimensão linear mínima de 1,40m e a abertura das portas das câmaras deverá efetuar-se para o interior da própria câmara.

5.1.3. Condições de evacuação do edifício

Os espaços interiores do edifício são organizados para permitir que em caso de incêndio os ocupantes possam alcançar um local seguro no exterior pelos próprios meios de forma rápida, fácil e segura. Desta forma e como descrito na revisão bibliográfica o edifício deverá dispor de saídas em número e larguras suficientes convenientemente distribuídas e devidamente sinalizadas para que a distância a percorrer pelos ocupantes seja limitada e, sempre que possível, para o exterior do edifício.

As vias de evacuação deverão de ter a largura adequada e, quando necessário, ser protegidas contra o fogo, o fumo e os gases de combustão e estarem livres de quaisquer objetos que dificultem a evacuação. Os elementos decorativos deverão ser fixos ao chão ou às paredes e não deverão diminuir a largura das vias de evacuação.

O art.º 54.º do RT-SCIE define que o dimensionamento dos caminhos de evacuação e das saídas deverá de ser realizado, sempre que possível, de forma a obter uma densidade de fluxo constante de pessoas em qualquer seção das vias de evacuação no seu movimento em direção às saídas obedecendo às distâncias a percorrer e à velocidade das pessoas de acordo com a sua condição física, de forma a atingir tempos de evacuação previstos eficientes.

5.1.3.1. Cálculo do efetivo do edifício

O cálculo do efetivo do edifício é calculado com base em índices de ocupação do espaço em função da sua finalidade e reportados à área útil de acordo com as disposições do art.º 51 da Portaria n.º 1532/2008. Contudo a aplicação direta do regulamento implicaria um número tão elevado de ocupantes que a atividade comercial das instalações tornar-se-ia impraticável e a simulação ainda mais lenta. Do somatório do efetivo do Quadro 5.1. resulta um efetivo de 1,93p/m².

Com efeito, procedeu-se ao cálculo do efetivo de outras formas. Numa etapa inicial procedeu-se ao levantamento da área útil de todo o edifício através das plantas de emergência dos pisos 0, 1 e 2 do edifício. Posteriormente e de acordo com as densidades predefinidas no regulamento em função do seu uso procedeu-se ao cálculo do efetivo do edifício. Numa fase posterior, procedeu-se à redução da área útil calculada em 30%, 25%, 20% e 10%.

De seguida com base nas informações recolhidas na Revista Fórum (de Abril 2006) quanto à capacidade da restauração (de público e colaboradores dos restaurantes) e com base no mesmo pressuposto de densidade para ocupantes para as restantes áreas, voltou a proceder-se ao cálculo do efetivo. Posteriormente procedeu-se ao mesmo cálculo reduzindo a área útil em 30%, 25%, 20% e 10%.

Por fim, procedeu-se à contagem do número de parques de estacionamento das plantas de arquitetura disponibilizadas supondo que cada viatura transporta quatro ocupantes. Do mesmo modo calculou-se o efetivo com base no número de estacionamentos definidos na Revista Fórum desprezando ocupantes que se desloquem de transportes públicos ou outros meios para o FC.

Analisaram-se os resultados e decidiu-se que se adotaria o método de cálculo através do RT-SCIE com redução da área útil do edifício de 25%. Os resultados analisados encontram-se disponíveis no anexo II.

A redução da área útil do edifício apesar de não se estar definida no âmbito da regulamentação foi incluída de forma a considerar-se o espaço afeto aos mostruários dos bens comerciais.

A área útil destinada aos balneários é elevada porque não se descontou o espaço de ocupação dos equipamentos sanitários adotando-se, de igual forma, o índice de ocupação definido no RT-SCIE. Ainda assim, o efetivo considerado através deste método traduz uma densidade bastante diminuta (0,35p/m²). Na

Figura 5.3 apresenta-se uma figura de t=0 no programa de simulação que facilita a perceção da densidade populacional do edifício e no Quadro 5.6 o efetivo do edifício.

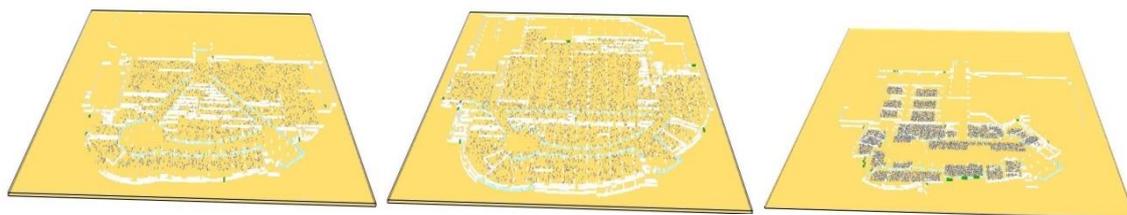


Figura 5.3 - Instante t=0 na simulação de evacuação do FC. (Fonte: Pyrosim, 2014)

Para efeitos de simulação de incêndio é importante a definição de um grupo de pessoas com limitações na mobilidade ou nas capacidades de perceção e reação ao alarme. Este valor foi calculado considerando os dados da Organização das Nações Unidas que defende que cerca de 10% da população mundial tem algum tipo de limitação e nas alíneas a) e b) do n.º 1 do art.º 10 do DL. n.º 220/2008.

O efetivo total de cálculo é de 10.949 ocupantes dos quais 1.096 têm limitações na mobilidade ou nas capacidades de percepção e reação a um alarme, distribuídos por pisos, conforme o Quadro 5.6. Relativamente ao quadro apresentado refira-se que o efetivo total de pessoas com limitações na mobilidade não corresponde a efetivamente 10% do efetivo total (mais um indivíduo) derivado dos arredondamentos à unidade por excesso. Para efeitos de simulação não se considerará a influência de pessoas com mobilidade reduzida na evacuação considerando-se apenas os valores de efetivo distribuídos por piso, de acordo com a densidade para espaços comerciais.

Quadro 5.6 - Efetivo do edifício.

	Efetivo total	Efetivo de pessoas com limitações na mobilidade
Piso 0	3.724	373
Piso 1	2.319	232
Piso 2	4.906	491
TOTAL	10.949	1.096

5.1.4. Dimensionamento das saídas e dos caminhos de evacuação

O critério geral para o cálculo do número mínimo de saídas que serve o edifício é dado em função do efetivo, *cf.* art.º 54.º do RT-SCIE, Quadro 5.7.

Quadro 5.7 - Número mínimo de saídas de locais cobertos em função do efetivo.

Efetivo	Número mínimo de saídas
1 a 50	Uma
51 a 1.500	Uma por 500 pessoas ou fração, mais uma
1.501 a 3.000	Uma por 500 pessoas ou fração
mais de 3.000	Número condicionado pelas distâncias a percorrer no local, com um mínimo de seis

As portas corta-fogo localizadas ao longo das vias de evacuação horizontal encontram-se normalmente fechadas.

Não são consideradas para a contabilização das saídas de emergência portas giratórias ou de deslizamento lateral. No âmbito do RT-SCIE estas portas podem ser consideradas se dotadas de motor e motorizadas assim como outros obstáculos de controlo de acesso se em caso de falta de energia ou de falha no sistema de comando abrirem automaticamente por deslizamento lateral, recolha ou rotação libertando o vão respetivo em toda a sua largura ou poderem ser abertas por pressão manual no sentido da evacuação por rotação segundo um ângulo não inferior a 90°.

As saídas que servem os diferentes espaços do edifício são localizadas de forma a permitir a sua rápida evacuação distribuindo entre elas o seu efetivo, na proporção das respetivas capacidades, minimizando a possibilidade de percursos em impasse e prevenindo o seu bloqueio simultâneo em situação de incêndio.

A largura útil das saídas e dos caminhos de evacuação é medida em unidades de passagem (UP) e deve ser assegurada desde o piso ou dos degraus das escadas, até à altura de 2 m (art.º 56.º) e deverão ter a largura mínima de 2UP para o edifício em estudo e cumprir as exigências do Quadro 5.8.

A unidade de passagem é a unidade teórica utilizada na avaliação da largura necessária à passagem de pessoas no decurso da evacuação. A correspondência em unidades métricas, arredondada por defeito para o número inteiro mais próximo é: 1 UP correspondem a 0,90 metros, 2 UP a 1,40 metros e $N \text{ UP} = N \times 0,60$ metros (para $N > 2$).

Quadro 5.8 - Número mínimo de UP em espaços cobertos.

Efetivo	Número mínimo de UP
1 a 50	Uma (não aplicável ao edifício em estudo)
51 a 1500	Uma por 100 pessoas ou fração, mais uma
Mais de 500	Uma por 100 pessoas ou fração

Relativamente às saídas e caminhos de evacuação do FC deverão considerar-se os seguintes pressupostos:

- A desconsideração dos pisos intermédios para efeitos de simulação impõem a não consideração das VVE uma vez que aqueles constituem pisos de saída da evacuação, não incluindo a movimentação através de escadas como as apresentadas na Figura 5.4. Contudo, as VVE existentes no centro de cada piso foram consideradas na simulação supondo-se que cada vão de acesso à VVE constitui uma saída para o exterior, não se incluindo portanto o tempo de deslocamento nas VVE;
- A desconsideração das VVE tem inerente a diminuição das UP's de saída, com efeito, criaram-se saídas próximas das VVE mantendo distâncias de percurso até o atingimento da VVE e de fluxos de saída;

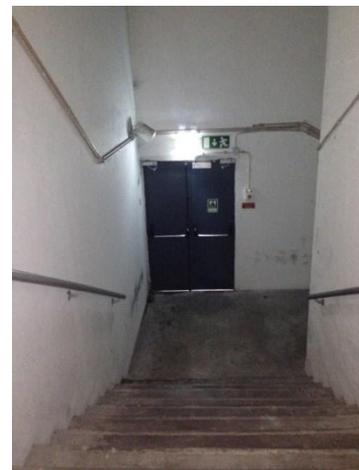


Figura 5.4 - Saída de emergência do FC não considerada no estudo.

- O edifício simulado no FDS+EVAC foi considerado de acordo com as plantas de arquitetura do FC cedidas pela MMM. As plantas de emergência do FC cedidas pela MMM não preveem alguns compartimentos de apoio à atividade comercial pelo que, inerente a isso, também, os caminhos de evacuação (nomeadamente os inerentes ao hipermercado) não transpõem completamente as plantas de emergência representadas no anexo I.

Apesar de se ter procedido a algumas alterações inerentes aos caminhos de evacuação refira-se que os caminhos de evacuação, com exceção das VVE, são os definidos no plano de emergência interno do FC. As VVE encontram-se identificadas como “EXIT” o que significa que a passagem pela porta da VVE é o tempo final de evacuação do ocupante. O percurso desde a saída do edifício até ao atingimento do ponto de segurança também não foi considerado; existem dois percursos exteriores distintos, como se demonstra na Figura 5.5 e Figura 5.6.



Figura 5.5 - Saída de emergência exterior e pontos de reunião 01 (entrada norte do edifício) e 02 (no estacionamento descoberto) do FC.

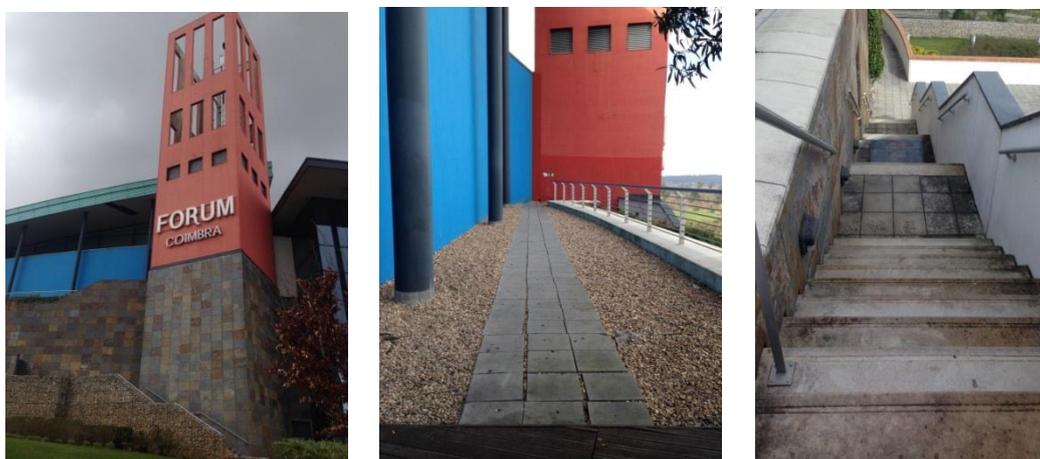


Figura 5.6 - Elementos exteriores não considerados para o cálculo do tempo de evacuação do FC.

Regulamentadamente a largura mínima total dos corredores exigida é de 37,24UP para o piso 0, 23,19UP para o piso 1 e 49,6UP para o piso 2 que poderão ser distribuídas pelo menos por 6,5 e 6 caminhos de evacuação respetivamente. No conjunto do edifício as exigências regulamentares são respeitadas contudo tanto na planta de emergência como nos dados de simulação a largura mínima das saídas e caminhos de evacuação é menor 0,81m e 2,33m no piso 2 na medição da planta de emergência e dos dados de simulação, respetivamente.

Relativamente à comparação da planta de emergência com os dados de simulação verifica-se que os dados considerados na simulação são mais vantajosos em termos de segurança, embora a diferença seja pouco significativa (1%). Em cálculos posteriores utilizar-se-ão os dados relativos à simulação de incêndio facilitando a comparação de resultados entre da simulação com os métodos tradicionais de dimensionamento.

Quadro 5.9 - Número de saídas e largura dos caminhos de evacuação no edifício.

	Exigência regulamentar				Planta de emergência FC			Dados de simulação		
	Efetivo	N.º de saídas	N.º UP's	Largura mínima	N.º de saídas	UP's	Largura	N.º de saídas	UP's	Largura
Piso 0	3.724	6	37,24	23,34	10	38,88	23,33	9	42,84	25,70
Piso 1	2.319	5	23,19	13,91	8	21,83	13,1	8	19,30	11,58
Piso 2	4.906	6	49,06	29,44	15	58,23	34,94	15	58,03	34,82
Total	10.949	17	109,49	66,69	33	118,9	71,37	32	120,17	72,103

5.1.5. Caracterização das vias horizontais de evacuação

As vias horizontais de evacuação conduzem, diretamente ou através de câmaras corta-fogo, a vias verticais de evacuação ou ao exterior do edifício. Uma vez que para efeitos de dimensionamento não se considerarão as VVE supondo-se que todos os pisos têm afetos uma saída direta ao exterior do edifício, neste capítulo não se procederá ao dimensionamento das VVE. Relativamente às portas das VHE, o n.º 7 do art.º 62.º define que deverão de ser equipadas com sistemas de abertura dotadas de barras antipânico e devidamente sinalizadas.

As portas que abram para o interior das VHE deverão ser recebidas a fim de não comprometer a passagem nas vias quando se encontrem total ou parcialmente abertas. Uma vez que a maioria das VHE tem, pelo menos 1,40m, esta situação tende a não comprometer a circulação dos ocupantes das VHE.

Nas situações de manifesta impossibilidade do cumprimento do nas posições intermédias de abertura as portas não deverão reduzir em mais de 10% as larguras úteis mínimas impostas pelo RT-SCIE. É obrigatória a abertura das portas em locais de risco C no sentido de saída, devendo preferencialmente verificar-se esta condição em todas os vãos das VHE.

As portas que servem de saída de emergência para o exterior dos edifícios deverão de ser dotadas de fechadura que possibilite a sua abertura pelo exterior encontrando-se as respectivas chaves no posto de segurança visando a sua utilização pelas equipas de segurança e pelos bombeiros. As portas existentes ao longo do percurso foram consideradas como abertas, o que não sucede na realidade, encontrando-se a sua maioria fechada. A posição de fechada das portas dificulta a propagação do incêndio, pelo que esta é uma situação desfavorável à evacuação não só em termos de propagação do fumo como no que concerne à contagem do tempo de abertura de porta por parte dos ocupantes.

Os pontos de reunião do edifício são dois: o ponto de reunião 01 junto à entrada norte e ponto de reunião 02 no parque de estacionamento ao ar livre, conforme a Figura 5.7. Refira-se, contudo, que para efeitos de simulação, a partir do ponto em que os ocupantes transpõem a saída (via final de evacuação) a evacuação termina, não sendo considerado o movimento até ao ponto de reunião.



Figura 5.7 - Pontos de encontro do FC. (Fonte: Plano de Segurança Interno do FC, 2012)

De acordo com o previsto no plano de segurança interno do FC os ocupantes dos compartimentos deverão evacuar para os pontos de encontro 01 e 02. Os ocupantes que aquando da emissão da mensagem de evacuação estão nas zonas assinaladas a amarelo na Figura 5.8 deverão dirigir-se para o ponto de encontro 02 no parque GPL e os que se encontram na zona vermelha para o ponto de encontro 01 junto da entrada norte do edifício e identificados na Figura 5.5.

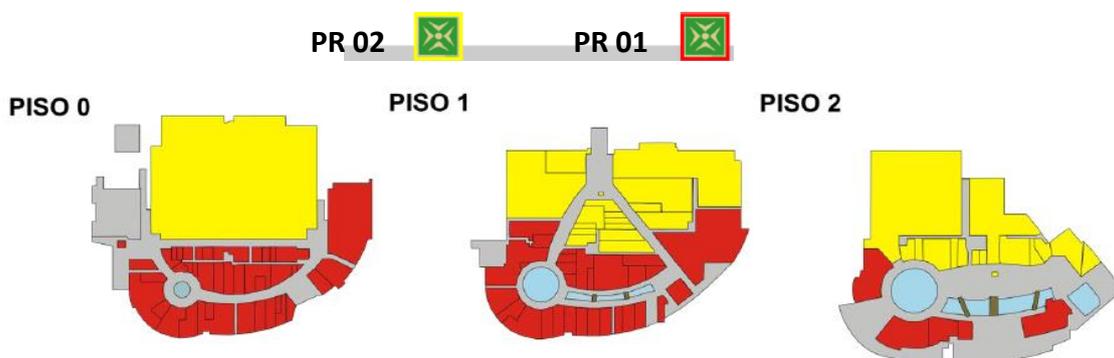


Figura 5.8 - Distribuição dos ocupantes do FC pelos pontos de encontro em função da sua localização. (Fonte: Plano de Segurança Interno do FC, 2012)

5.1.6. Organização da segurança

Para concretização das medidas de autoproteção são definidos responsáveis de segurança que compreendem todos os recursos do edifício: lojistas, vigilantes e responsáveis pela manutenção e limpeza. Assegura-se, ainda, a presença contínua de pelo menos oito elementos com formação específica em segurança durante o horário de funcionamento do edifício. Os elementos que constituem as equipas de segurança têm permanentemente funções específicas no âmbito da segurança ou são facilmente mobilizáveis em situação de emergência.

Acresce o facto de o FC ter permanentemente uma equipa de vigilância no edifício composta no mínimo por dois vigilantes no período da noite pertencente a uma empresa externa organizada em turnos.

A corporação de bombeiros mais próxima é o Corpo de Bombeiros Sapadores de Coimbra, localizados a aproximadamente 5 Km de distância e a aproximadamente 5 minutos do edifício.

A organização da segurança no FC está organizada conforme a Figura 5.9 em que cada elemento tem funções definidas: em caso de ausência do superior hierárquico, o responsável de nível imediatamente inferior assume as funções do superior.

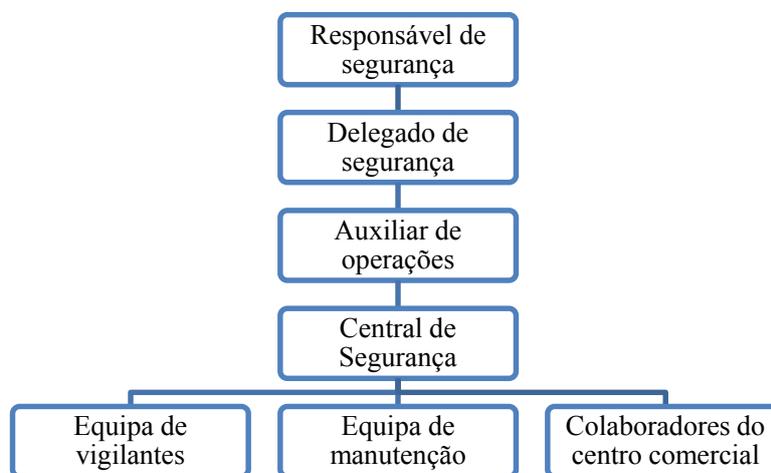


Figura 5.9 - Organização da gestão da emergência no FC. (Fonte: Plano de Segurança Interno do FC, 2012)

Todos os funcionários do FC, funcionários de empresas contratadas para prestação de serviços com permanência física nas instalações do edifício assim como os responsáveis das lojas são informados dos procedimentos de emergência.

O diretor do plano de emergência interno é o responsável pela segurança das pessoas, bens e operacionalidade do FC assumindo a direção superior das operações de emergência e é o responsável pelas condições de segurança contra incêndio perante a Autoridade Nacional de Proteção Civil.

O delegado de segurança assegura a coordenação de todos os intervenientes na situação de emergência assim como as operações de socorro e combate. Cabe ao DS decidir sobre a necessidade de evacuação do edifício assim como coordenar o processo de evacuação até à chegada dos meios de socorro externos.

Após a chegada dos meios externos, o DS deve garantir todo o apoio necessário àqueles meios, assim como, assegurar a informação do ponto de situação ao diretor do plano e à comunicação e fornecer outras informações pertinentes à intervenção.

Após o término da ocorrência, o DS garante a reposição da normalidade, assegurando a implementação de todas as ações de recuperação necessárias após a emergência assim como a análise da emergência e quantificação dos danos humanos e materiais de forma a decidir sobre a necessidade de implementação de medidas de prevenção de acidentes complementares às existentes.

O auxiliar de operações cumpre as instruções do DS, colabora na realização das ações de 1ª intervenção em conjunto com os vigilantes, nas ações de evacuação em conjunto com os lojistas assim como controla o acesso às áreas afetadas.

A central de segurança (ocupada permanentemente por um vigilante) garante a confirmação dos alarmes através dos vigilantes móveis, informando o DS em situação positiva, alerta aos meios de socorro externos, informa os vigilantes e lojistas da emergência assim como opera os sistemas de segurança com centrais instaladas na CS, de acordo com as indicações do DS.

A equipa de vigilantes do FC procede à confirmação de alarmes, colaborar nas ações de primeira intervenção e de evacuação (conjuntamente com os lojistas), controlar os acessos às áreas afetadas e colaborar com o DS.

A equipa de manutenção é constituída por um total de seis colaboradores: um responsável de manutenção, um técnico de ar condicionado e três técnicos polivalentes e encontra-se no edifício do FC durante o seu horário de funcionamento. Assegura a execução de ações de manutenção, sob instruções do DS realizando todas as ações de intervenção necessárias nos sistemas e equipamentos existentes de acordo com os planos de manutenção.

A totalidade dos colaboradores do FC asseguram a boa funcionalidade dos sistemas e equipamentos de segurança do seu local de trabalho, durante o seu turno de trabalho deverão identificar potenciais situação de risco e consequente informação à central de segurança.

Relativamente aos responsáveis pelas lojas existem duas situações distintas: as lojas com menos de 300m² e as superiores a 300m² (adiante designadas de lojas âncora):

1. Os responsáveis pelas lojas com dimensão inferior a 300m² deverão garantir o cumprimento das instruções dadas pelos vigilantes e pelo DS, em caso de incêndio nessa loja. São responsáveis pelo alarme para a CS e pela 1ª intervenção e em caso de evacuação deverão garantir a evacuação total da loja encaminhando o público para o exterior do edifício.
2. Os responsáveis das lojas âncora deverão nomear um colaborador designado por RS e possuir plano de evacuação próprio da respetiva loja. Em situação de emergência no interior da loja, o RS da loja transmite o alarme à CS, assegura e coordena as operações de 1ª intervenção na loja e garante o encaminhamento das pessoas para o exterior do edifício, em estreita colaboração e coordenação com o DS.

As equipas de manutenção (quando presentes nas instalações) deverão apoiar o DS assim como proceder à reparação de sistemas ou equipamentos que se revelem fundamentais para gerir a emergência. São responsáveis pela execução dos cortes de energia, quando necessário.

Os elementos da administração presentes no edifício durante a emergência deverão colaborar nas ações de evacuação, encaminhando o público para os pontos de reunião exteriores assim como controlar os acessos das entradas Nascente e Poente do edifício.

Os elementos de limpeza, elementos do balcão de informações e outras pessoas afetas à exploração do edifício deverão colaborar com os vigilantes nas ações de evacuação e reposição da normalidade.

Os meios externos de proteção e socorro atuam, nas instalações do FC, de acordo com as suas hierarquias e procedimentos, em ligação com o RS (ou na sua ausência o DS). Os meios de proteção e socorro próprios do FC são disponibilizados para utilização dos meios externos. O cais de cargas e descargas do FC, em situação de emergência, é reservado para ações de triagem e de socorro até à chegada dos meios externos de socorro. Após a sua chegada, aqueles assumirão o comando das operações e recolocação dos meios, se necessário.

5.1.6.1. Rotina de deteção, alarme e alerta

O Fórum Coimbra tem um sistema automático de deteção de incêndios (SADI) compostos por central de deteção de incêndios (CDI), localizada na central de segurança (Piso 1A), local ocupado em permanência, por detetores automáticos de incêndio e betoneiras manuais de alarme.

Algumas lojas do FC, nomeadamente as lojas âncora, algumas lojas de restauração e cerca de 1/3 das restantes, dispõem de SADI's próprios. Em situação de deteção de incêndio é identificado o local de alarme na CDI do FC sendo possível a sua reposição no estado de vigília após reposição na própria loja.

A atuação de um detetor de incêndio, vários detetores num mesmo loop ou uma betoneira manual de alarme origina um alarme restrito na CS do FC e à impressão de um registo/relatório. Desde o momento do alarme ao seu reconhecimento na CS o tempo é contado, caso as temporizações sejam ultrapassadas são desencadeadas as ações da matriz de emergência. Importa referir que desde a identificação da possível emergência à decisão de evacuação do edifício estão associados, no máximo, 8 minutos, conforme informações prestadas pelos responsáveis pela gestão da segurança do FC.

O sistema de deteção alarme e alerta é controlado, diariamente e 24 horas por dia, pela central de sinalização e comando e pela central de segurança do edifício. Após a receção do alarme na central do sistema de alarme e deteção de incêndios, o vigilante da CS informa o vigilante móvel fornecendo-lhe as indicações necessárias para a verificação do alarme, que se desloca ao local e verifica o estado da ocorrência comunicando-o ao CS. Caso necessário, o auxiliar de operações deverá deslocar-se para o local do alarme no sentido de reforçar a informação transmitida pelo vigilante.

Em caso de falso alarme o vigilante da CS recoloca o sistema no estado de vigília, devendo, o vigilante móvel averiguar a causa da ocorrência e comunicar ao auxiliar de operações. Face à confirmação de um alarme e quando o vigilante móvel não possua os meios necessários para o resolver num breve espaço de tempo, o vigilante da CS efetua o alerta aos meios externos de socorro e ao DS. O DS comunica a ocorrência ao diretor do plano e aquele decide sobre a ativação do PEI e evacuação do edifício.

Em situação de ativação do PEI e da evacuação do edifício, o DS informa o vigilante da CS que deverá informar todos os vigilantes e os RS das lojas âncora e acionar o sistema de difusão da mensagem de evacuação pré-gravada. Os difusores de alarme geral, por meio de mensagem gravada devem ser distribuídos de acordo com o art.º 121 do RT-SCIE, de modo a não causarem pânico aos ocupantes do edifício. A atuação dos difusores é precedida da ligação dos aparelhos de iluminação de emergência de ambiente e de balizagem.

Os ocupantes do edifício são encaminhados para o exterior do edifício, para um dos dois pontos de reunião do edifício (devidamente identificados nas plantas de emergência, adequadamente distribuídas ao longo do edifício e junto àquelas zonas) com auxílio dos percursos de evacuação e dos vigilantes, devidamente sinalizados.

Na CS, através do circuito fechado de televisão do FC (que permite controlar as áreas comuns, corredores técnicos, acessos e vias verticais de evacuação/acessos ao centro comercial através de câmaras fixas e rotativas com visualização na CS), apoia os vigilantes na verificação e identificação dos espaços ainda ocupados por pessoas.

A ativação do PEI pressupõe o seguimento dos procedimentos de emergência e a convocação de todos os responsáveis da estrutura operacional do PEI. O PEI é ativado face à existência de situações de evacuação (a decidir, conforme anteriormente descrito, pelo DS ou seu substituto), face à intervenção de meios externos (excluindo situações relacionadas com acidentes de trabalho e o alerta aos bombeiros é realizado via telefone, pelo vigilante da central de segurança) e aquando da realização de exercícios de treino do PEI.

As lojas âncora, de restauração e algumas outras possuem sistema de deteção, alarme e alerta próprios (caso ocorra a deteção é possível identificar a loja em alarme na CDI, repondo-o em estado de vigília, após a reposição na própria loja).

Nos caminhos horizontais de evacuação (incluindo espaços comuns), junto às saídas de lojas e em outros locais sujeitos a riscos especiais estão instalados dispositivos de acionamento manual do alarme, betoneiras, a cerca de 1,5 m, devidamente sinalizadas, conforme descrito pelo art.º 119 do RT-SCIE. A atuação de um ou vários detetores de incêndio ou de uma betoneira de alarme manual num mesmo loop origina um alarme restrito na CDI e à impressão de um registo, acionando de seguida o procedimento de aceitação e reconhecimento do alarme (que decorre no máximo, em 7 minutos).

Caso o tempo de deteção seja ultrapassado ou confirmada a emergência são desencadeadas automaticamente as seguintes operações: anulação das ordens dos elevadores e monta-cargas e condução destes aos respetivos planos de referência, onde permanecem de portas abertas, atuação dos registos corta-fogo, paragem do sistema de ventilação e acionamento do sistema de desenfumagem mecânica e abertura das janelas de desenfumagem, corte do gás natural, inativação dos retentores magnéticos das portas corta-fogo, desbloqueando-as e destranque das portas existentes nas circulações comuns para o exterior.

Outras operações são desencadeadas por atuação de uma betoneira existente na central de segurança (e com a chave existente no gabinete do diretor de operações) que inclui: paragem das escadas rolantes, emissão da mensagem de evacuação pré-gravada, em português e inglês, corte dos quadros AVAC e corte da iluminação nos pisos de estacionamento e atuação das cortinas de água na rampa de estacionamento.

No plano de segurança interno do FC (versão de Outubro de 2012) consta a matriz das ações gerais de evacuação, representada na Figura 5.10 e acima descrita.

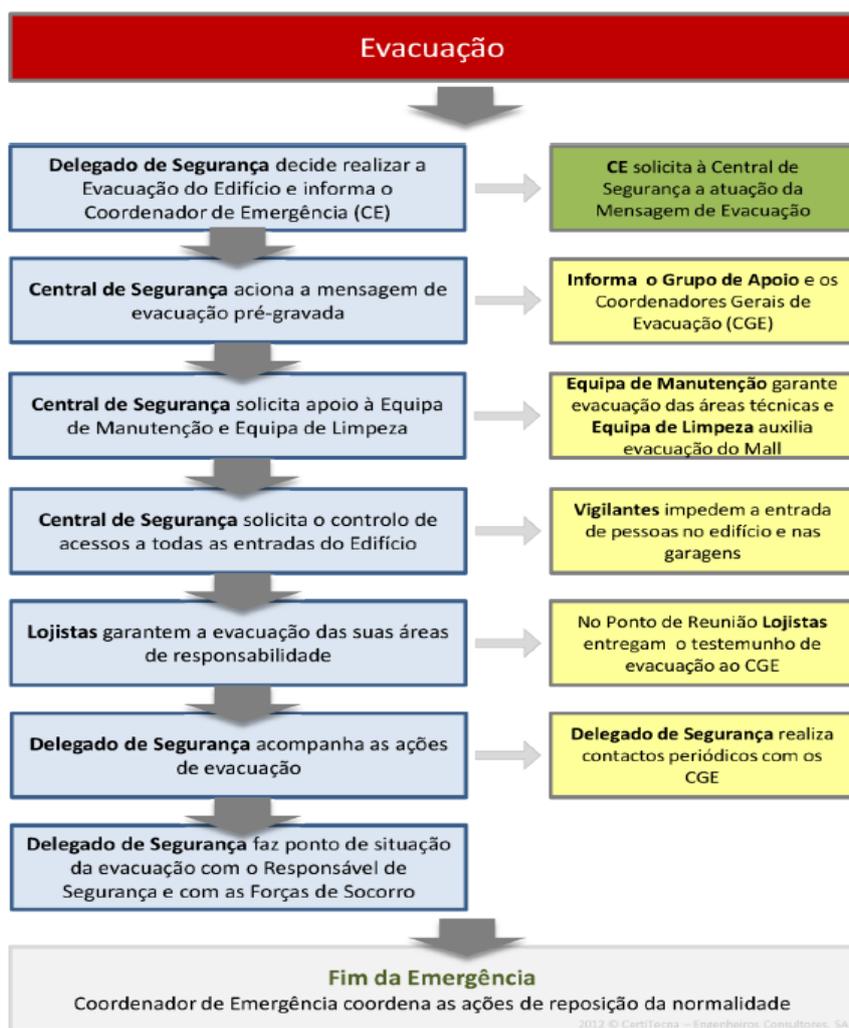


Figura 5.10 - Matriz de evacuação do FC. (Fonte: Plano de Segurança Interno do FC, 2012)

5.1.7. Equipamentos e sistemas de segurança

A informação contida na sinalização e iluminação de emergência está distribuída em conformidade com as exigências regulamentares, apresentando-se na linha de visão das pessoas, identificando e iluminando meios de intervenção e percursos e saídas de emergência. A iluminação é realizada maioritariamente por blocos autónomos permanentes, nas condições exigidas pelo capítulo II do RT-SCIE, Figura 5.11.



Figura 5.11 - Iluminação de emergência do FC.

O FC é dotado de um sistema de insuflação de ar junto de cada porta de entrada e nas Praças Terra, Fogo e Água, existem 16 janelas de desenfumagem (com dimensões médias de 0,98mx1,47m) localizadas ao nível da cobertura que abrem automaticamente ou manualmente com o acionamento do sistema de controlo de fumo na central de deteção de incêndio (CDI) com exceção de uma janela que é apenas de abertura manual.

O sistema de desenfumagem do FC está dividido em quatro subsistemas (por praças e corredores) e não é possível a atuação simultânea de todos os subsistemas. As VVE não abertas para o exterior são pressurizadas.

A ventilação é dividida por pisos e é ativada pelo sistema de deteção de monóxido de carbono do edifício e desativada através da CDI e o sistema de controlo de fumos é alimentado pelo gerador de emergência.

Para a simulação de incêndio não importa referir as exigências ao nível da existência de meios, quer de primeira (extintores de pó químico e CO₂) quer de segunda (rede de incêndios armada alimentada por dois depósitos de água localizado na central de bombagem existente no piso -2) intervenção, pelo que as suas características não serão discriminadas.

Por observação (Figura 5.12), verificou-se que os equipamentos de segurança encontram-se adequadamente distribuídos e mantidos ao longo do edifício, embutidos nas paredes ou salientes e devidamente sinalizados, sendo cumpridas as exigências regulamentares.



Figura 5.12 - Equipamentos de combate a incêndios no FC.

Os bombeiros dispõem de diversos hidrantes exteriores localizados a menos de 30m das principais entradas do edifício e junto das fachadas e alimentadas a partir da rede pública de distribuição de água, capítulo III, do RT-SCIE.

O sistema automático de extinção de incêndio por água (*sprinklers*) localiza-se nas lojas ao nível da laje e do teto falso, alimentados por um dos reservatórios da RIA. Os *sprinklers* são de ampola de mercúrio que entra em ebulição entre os 68°C e os 70°C, ao atingir essa temperatura a ampola quebra e ativa a extinção. Os *sprinklers* podem ser repostos manualmente através do fecho da válvula de corte que existe uma por loja ou cortando o abastecimento a toda a rede de *sprinklers*.

As fontes de energia de emergência necessárias são asseguradas pelos três geradores de emergência, divididos em dois grupos geradores de emergência e respetivas reservas de combustível, ativadas em situação de falha na alimentação da energia da rede pública, de acordo com o art.º 123 do RT-SCIE.

5.1.8. Meios mecânicos de evacuação

Os elevadores, as escadas e tapetes rolantes não estão previstos, no âmbito da gestão da emergência para fins de evacuação sendo automaticamente desligados por atuação do sistema de alerta e deteção de incêndio. Contudo, para efeitos de estudo enquadrar-se-ão as características mínimas de proteção ao incêndio das escadas rolantes e elevadores por na revisão do estado da arte se ter realizado uma breve referência a estes meios.

As escadas rolantes deveriam ter isolamento com resistência ao fogo de EI 60 (n.º 1 do art.º 27 do RT-SCIE). As paredes e portas de patamar de isolamento das caixas de elevadores ou de baterias de elevadores deveriam, no mínimo, *cf.* o art.º 28 do RT-SCIE dispor de paredes das classes de resistência padrão REI60, portas de patamar de funcionamento automático E30 e nos pisos abaixo do plano de referência serem protegidos por uma câmara corta-fogo.

Os elevadores posicionam-se no piso de referência definido pela entidade gestora dos elevadores. Os bombeiros possuem uma chave de manobra de elevador para seu uso exclusivo conforme as disposições constantes no art.º 104 do RT-SCIE que serve todos os pisos do edifício e cada compartimento corta-fogo.

Cada ascensor é equipado com um dispositivo complementar ao de chamada, constituído por um interruptor acionado por chave própria colocado no piso do nível de referência, que desencadeia uma segunda atuação e o coloca ao serviço exclusivo dos bombeiros, restabelecendo a operacionalidade dos botões de envio da cabina e dos dispositivos de comando de abertura das portas.

5.2. Modelação da evacuação em situação de incêndio no edifício

O presente capítulo expõe o método e os resultados da modelação da evacuação em situação de incêndio do edifício, com base no descrito nos capítulos anteriores.

5.2.1. Características dos ocupantes

O número dos ocupantes do edifício foi calculado de acordo com o descrito no capítulo 5.1.3.1 não tendo sido consideradas as características específicas dos ocupantes tais como género, idade ou capacidade de mobilidade e consequentemente velocidade de deslocamento horizontal, de descida de escadas ou de subida de escadas.

Os ocupantes foram distribuídos pelo edifício uniformemente em função das áreas de cada compartimento e do efetivo de cada piso. Consideraram-se as características padrão dos ocupantes (*cf.* Quadro 4.1 com exceção do tempo de deteção e do tempo de pré-movimento (240 segundos *cf.* Quadro 2.12).

Inicialmente adotou-se para efeito de cálculo do tempo de deteção o tempo intermédio de 3,5 minutos (210 segundos), ainda que as lojas âncora e de restauração sejam dotadas de sistema de deteção e alarme próprio considerava-se este tempo adequado. No entanto, após se ter realizado uma simulação teste considerou-se que o tempo de deteção adequado seria zero uma vez que aos 450 segundos conforme se apresenta na Figura 5.13 (o somatório dos 210 do tempo de deteção e dos 240 segundos do tempo de pré-movimento) o incêndio está completamente desenvolvido.

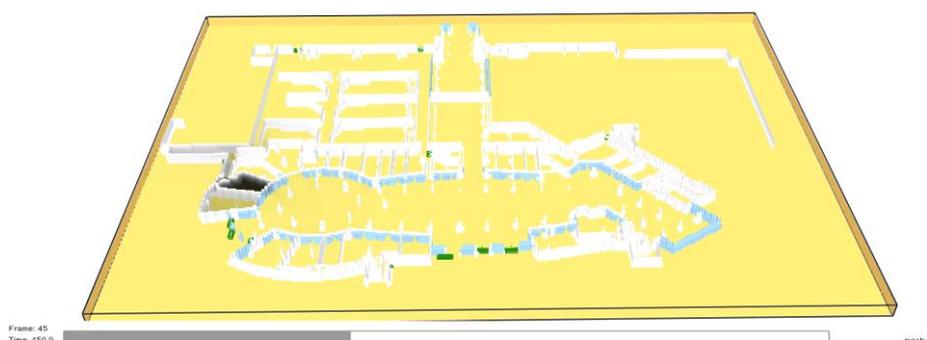


Figura 5.13 - Incêndio no piso 2 aos 450 segundos, cenário 1. (Fonte: Pyrosim, 2014)

De forma a prever-se o tempo de deteção para efeitos de cálculo do tempo total de evacuação no compartimento de incêndio foram dimensionados detetores de fumo colocados no teto falso do compartimento (Figura 5.14). O tempo necessário para a ativação do primeiro detetor é o considerado para o cálculo do tempo de evacuação. Desta forma considera-se que após a deteção de incêndio é dado o alerta geral de evacuação em todo o edifício.

A temperatura do edifício, assim como, as condições de visibilidade foram analisadas a primeira com recurso a termoacumuladores colocados no compartimento de incêndio e nas VHE e a várias malhas unidireccionais definidas através da *namelist* SLCF e o segundo, apenas, a malhas direccionais.

Relativamente ao tempo de evacuação, apesar de as condições de incêndio simuladas não incluírem o sistema de ventilação e, portanto as condições de evacuação simuladas perspetivam o pior cenário face às existentes no FC. Considerou-se, ainda um fator de segurança ao tempo de evacuação de 1,5 de acordo com a equação (4.7).



Figura 5.14 - Detetores de incêndio da loja do cenário 3.

A altura de fumo corresponde àquela onde o FDS+EVAC recolhe informações para o cálculo do FED, *cf.* capítulo 4.1.1. As principais características do movimento de evacuação encontram-se no Quadro 5.10.

Quadro 5.10 - *Input* das características dos ocupantes na simulação.

Caraterística	Mínimo	Máximo	Valor	Distribuição
Velocidade de movimento dos ocupantes sem obstáculos [m/s]	0,95	1,55	-	Uniforme
Tempo de deteção [s]	-	-	0	Constante
Tempo de pré-movimento [s]	-	-	240	Constante
Altura da cabeça dos ocupantes [m]	-	-	1,6	-

5.2.2. Cenários de incêndio e evacuação

Na definição dos cenários de incêndio e evacuação, Quadro 5.11, considerou-se que o principal objetivo seria o cálculo do tempo de evacuação. Inicialmente realizaram-se simulações de teste de forma a estimar o tempo de evacuação do edifício. Em função dos resultados obtidos e com vista a minimizar os tempos de simulação do programa definiu-se o tempo de simulação de 1200 segundos (20 minutos).

Para o estudo foram definidos cinco cenários com vista a calcular o tempo de evacuação do edifício e a influência do fumo no tempo de evacuação, adotando os parâmetros padrão do FDS+EVAC, com exceção dos definidos no Quadro 5.10.

Quadro 5.11 - Descrição dos cenários de incêndio.

Identificação do cenário	Descrição do cenário
Cenário 0	Simulação da evacuação dos pisos 0,1 e 2 sem incêndio em simultâneo (com vista a estudar a influência da variação da posição inicial dos ocupantes, de acordo com o definido no capítulo 4.1.2).
Cenário 1	Simulação de incêndio localizado no piso 2 em restaurante (MacDonald's), próximo de três saídas de evacuação.
Cenário 2	Incêndio localizado no piso 1 em loja (SpringField).
Cenário 2.1	Incêndio localizado do piso 1 em loja (SpringField) com índices de conhecimento atribuídos à saída E.1.5 e E.1.7.
Cenário 3	Incêndio localizado no piso 0 em loja (Primark).
Cenário 4:	Incêndio localizado no piso 0 do hipermercado (Continente).

A definição do cenário 2.1 surge no âmbito de uma reunião de apresentação dos resultados preliminares ao gabinete de segurança do FC durante a qual se identificou que as saídas mais utilizadas no cenário 2 não correspondiam às mais utilizadas durante os exercícios de treino. Com efeito, decidiu-se definir índices de conhecimento às saídas E.1.5 e E.1.7 que são as mais utilizadas durante os exercícios de treino.

As dimensões das malhas e a não consideração dos sistemas de climatização e ventilação do edifício, de combate a incêndios (*sprinklers*) e de obturação automática de dispositivos nomeadamente de portas, janelas e grelhas de ventilação diminuem significativamente o tempo de simulação do programa. Se por um lado a não consideração dos sistemas tem inerente a não tradução, na íntegra, do sistema de segurança do edifício por outro, prevê o pior cenário possível, a falha de todos os sistemas de segurança. O sistema de deteção automática de incêndio apenas foi estimado e imputado nos compartimentos de incêndio, como descrito em 5.2.1.

As malhas foram definidas em função da dimensão de cada cenário de incêndio. Considerou-se malhas de evacuação e incêndio com, aproximadamente, a mesma dimensão, com exceção das coordenadas relativas ao z, que para malhas de evacuação tem de ser 1, inerente ao parâmetro EVAC_Z_OFFSET descrito no Quadro 4.4 no capítulo 4.2.

Uma vez que o objetivo do estudo é o cálculo do tempo de evacuação, não se pretendendo a análise de uma seção da via de evacuação e de forma a minimizar tempos de simulação, considerou-se aceitáveis as dimensões definidas para a malha, uma vez que são superiores à largura mínima das saídas de evacuação (0,90m).

No Quadro 5.12 apresentam-se as dimensões das malhas assim como os tempos de simulação decorridos no computador Intel®core™i7-2600CPU@3,40GHz, 64-bit com Windows 7 professional do Departamento de Engenharia Civil, os maiores tempos de simulação são os dos cenários que integram incêndio.

De referir, ainda, que com base perspetiva da propagação do fumo, apenas na simulação do piso 1 (junto à praça ar) a propagação de fumo poderia ter influência na movimentação dos ocupantes do piso 2 mas como as circulações comuns incluem sistemas de ventilação considera-se que a propagação do incêndio de um piso para o outro é pouco provável.

Quadro 5.12 - Dimensões dos cenários de incêndio (malhas).

Cenário	Identificação da malha	Dimensões (x,y,z) da malha [m]	Tempo de simulação
Cenário 0	Malha de evacuação piso 0	<i>(1, 0.96, 1)</i>	Cenário 0.0: 7h15m
	Malha de evacuação piso 1	<i>(1, 0.96, 1)</i>	Cenário 0.1: 8h03m
	Malha de evacuação piso 2	<i>(1, 0.89, 1)</i>	Cenário 0.2: 7h12m Cenário 0.3: 7h10m Cenário 0.4: 7h47m Cenário 0.5: 7h36m
Cenário 1	Malha de incêndio piso 2	<i>(0.68, 0.59, 0.62)</i>	Com incêndio: 21h15m
	Malha de evacuação piso 2	<i>(1, 0.89, 1)</i>	Sem incêndio: 09h38m
Cenário 2 e 2.1	Malha de incêndio piso 1	<i>(0.65, 0.63, 0.60)</i>	Com incêndio: 20h50m
	Malha de evacuação piso 1	<i>(0.65, 0.63, 1)</i>	Sem incêndio: 10h17m
Cenário 3	Malha de incêndio 0	<i>(0.75, 0.77, 0.75)</i>	Com incêndio: 14h08m
	Malha de evacuação piso 0	<i>(0.75, 0.77, 1)</i>	Sem incêndio: 10h31m
Cenário 4	Malha de incêndio 0	<i>(0.75, 0.77, 0.75)</i>	Com incêndio: 12h50m
	Malha de evacuação piso 0	<i>(0.75, 0.77, 1)</i>	Sem incêndio: 09h49m

Como referido no capítulo 4.1 é aconselhável a fim de determinar a taxa de variação dos resultados do módulo EVAC inerente à aleatoriedade das posições iniciais dos ocupantes que sejam realizadas pelo menos 12 simulações nas mesmas condições de evacuação. Contudo apenas foram realizadas seis simulações de evacuação do edifício em simultâneo sem incêndio com vista a analisar a aleatoriedade das posições iniciais dos ocupantes, Figura 5.15, porque a variação dos resultados obtidos não era significativa: as variações são mínimas, no máximo 60,25s no tempo total de evacuação, *cf.* o Quadro 5.13.

A Figura 5.15 demonstra a evolução do tempo total de evacuação nas seis simulações efetuadas sem incêndio e a média do tempo de evacuação total do edifício. A análise da variação dos dados demonstra variações pouco significativas pelo que, não se considerou, para o cálculo do tempo de evacuação total do edifício significativo a realização de simulações de análise da variância da posição inicial dos ocupantes para as simulações de incêndio.

O FDS+EVAC para edifícios com mais de um piso impõe a definição de uma malha de evacuação por piso mas a malha de incêndio pode ser definida para todo o edifício. As simulações foram realizadas piso a piso porque o processador do computador não tinha capacidade para a realização da simulação com uma malha que integrasse dois ou três pisos com simulação de incêndio e o cálculo numérico do programa considera todas as malhas de evacuação como possíveis caminhos de evacuação, com efeito se o objetivo é o estudo da evacuação com incêndio e sem incêndio, o estudo da evacuação sem incêndio deverá ser feita com os mesmos parâmetros, tamanho da malha e caminhos possíveis, da de não incêndio.

No Quadro 5.13 apresentam-se os tempos de evacuação inerente à simulação da evacuação simultânea em todos os pisos, que se comparados com os resultados obtidos para piso a piso (capítulo 5.3) são significativamente superiores.

Quadro 5.13 - Estudo da variação do tempo de evacuação total do edifício das simulações de evacuação sem incêndio.

	Cenário 0.0	Cenário 0.1	Cenário 0.2	Cenário 0.3	Cenário 0.4	Cenário 0.5
Tempo mínimo de saída do primeiro ocupante [s]	241,01	241,26	240,95	241,11	241,36	240,71
Tempo máximo de saída do último ocupante [s]	970,05	960,05	950,05	1010,05	950,05	980,05
Tempo de movimento dos ocupantes [s]	720,05	710,05	700,05	760,05	700,05	730,05

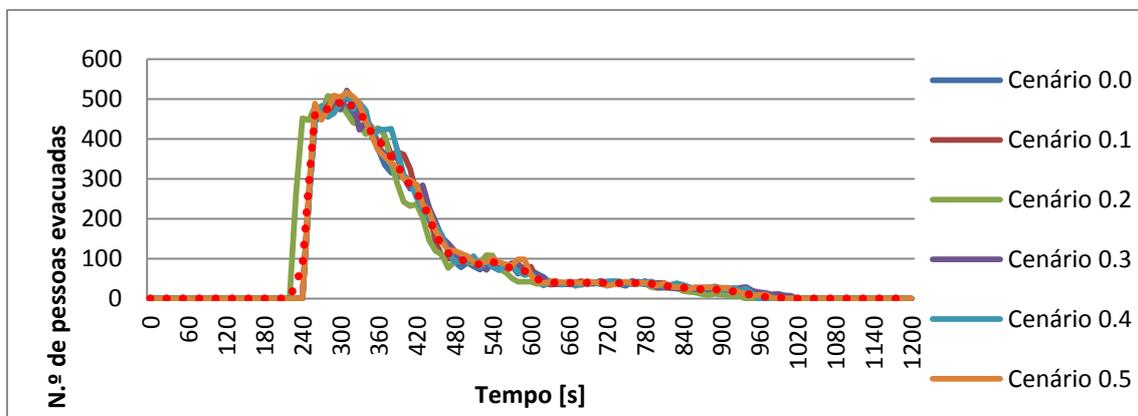


Figura 5.15 - Número de pessoas evacuadas sem incêndio nas 6 simulações efetuadas e média do tempo de evacuação, cenário 0

O dimensionamento do queimador prevê a utilização do edifício de acordo com o Quadro 4.6, sendo a taxa de crescimento do incêndio rápida de 250kW/m^2 e de 150 segundos, de acordo com a equação (4.8). A área de incêndio foi estimada de acordo com os objetos passíveis de inflamarem nos compartimentos, de acordo com os valores apresentados no Quadro 5.14.

Quadro 5.14 - Cálculos de incêndio dos cenários.

Parâmetro	Cenário				
	0	1	2	3	4
Área do compartimento [m ²]	-	194,22	281,13	729,28	9330,51
Área de fogo [m ²]	-	22,83	16,34	44,62	180,34
HRR pico [MW]		48,55	70,28	182,32	2332,6
Tempo para o atingimento do HRR de pico		1045,22	1257,52	2025,39	7244,59

Na análise dos resultados consideraram-se os parâmetros do Quadro 5.15 onde se refere, o capítulo de justificação da adoção do parâmetro neste documento. Refira-se que, salvo mencionado, as figuras apresentadas apenas incluem o tempo de movimento dos ocupantes.

Quadro 5.15 - Parâmetros para a análise da evacuação do edifício.

Parâmetro	Critério	Referência no documento
Tempo de deteção sem incêndio [s]	50	1
Densidade máxima de fumo [l/m]	0,15	Capítulo 2.1.2
Dose efetiva fracionária (FED) máxima	1	Capítulo 4.1.1
Temperatura admissível do ambiente	Máximo de 120°C	Capítulo 2.1.1
Velocidade de movimento das pessoas	Cf. simulação a simulação	Capítulo 4.1
Tempo disponível para a evacuação (ASET)	30minutos (1800s)	Capítulo 5.1.2
Densidade dos espaços do piso 2 [p/m ²]	0,77	2
Densidade dos espaços do piso 1 [p/m ²]	0,15	2
Densidade dos espaços do piso 0 [p/m ²]	0,26	2
Densidade crítica para a movimentação de pessoas	8p/m ²	Capítulo 2.3

1 Valor adotado por verificação dos tempos de deteção das restantes simulações.

2 Em função do número e da sua distribuição no espaço relativamente à posição inicial dos ocupantes foi calculada a densidade média do piso.

5.3. Análise e discussão dos resultados

O capítulo 5 apresenta os resultados obtidos nas simulações de incêndio e não incêndio, analisando e comparando os cenários com e sem incêndio, piso a piso. Contudo é dada maior relevância aos dados obtidos na simulação de incêndio, nomeadamente quanto aos tempos de deteção, análise de fluxos nas saídas de evacuação, da temperatura e visibilidade nos caminhos de evacuação.

Com base na velocidade inicial média dos ocupantes em situação de incêndio, nas plantas de emergências de cada piso do FC através das quais se estimou distâncias de cálculo e na janela de visualização dos dados de saídas do FDS+EVAC, Smokeview, desenhou-se nas plantas de emergência os principais caminhos de evacuação dos ocupantes, identificados com cores distintas, e estimou-se o tempo de movimento dos ocupantes em pontos intermédios até à saída, identificadas de acordo com o Pyrosim.

Os tempos de evacuação estimados no percurso de evacuação nas plantas não incluem a influência da densidade e do comportamento humano dos ocupantes, sendo, apenas função, da velocidade de deslocamento e da distância a percorrer, calculado com base na equação (4.6), para que o esquematizado nas plantas de emergência fosse o correspondente ao visualizado no Smokeview.

As plantas de emergência com os caminhos e tempo estimados de evacuação assim como o percurso definido no plano de emergência interno do FC são apresentados no anexo I, de acordo com a legenda e a numeração atribuída aos compartimentos, saídas e vias verticais (não consideradas neste estudo).

5.3.1. Evacuação do piso 2 com incêndio em restaurante (cenário 1)

O tempo de movimento dos 4906 ocupantes do piso 2 numa situação de não incêndio é de 427,91 segundos (7 minutos e 08 segundos) e com incêndio de 434,16 segundos (7 minutos e 14 segundos) de acordo com a Figura 5.16 que representa graficamente e visualmente o período final da evacuação do edifício.

A Figura 5.24 representa a evacuação do piso 2 com incêndio 10,92 segundos após o início do movimento dos ocupantes em direção à saída. A diferença entre o tempo de pré-movimento definido (240 segundos) e o primeiro ocupante atingir a saída é de 0,83 segundos, o tempo necessário para o primeiro ocupante atingir o exterior, na saída E.2.7.

O tempo de deteção sinalizado pelo detetor do compartimento de incêndio é de 50,09 segundos, Figura 5.23. Com efeito e de acordo com a equação (4.7), o tempo necessário para a evacuação é de 941,33 segundos (16 minutos e 41 segundos) com o fator de segurança de 50% no tempo de movimento incluído, tal como a equação (5.1).

O tempo disponível para a evacuação (ASET) é superior ao tempo necessário à evacuação total do piso 2 (RSET), nas condições de simulação o edifício garante a evacuação segura dos ocupantes, com uma margem de 14 minutos e 19 segundos (858,67 segundos), Quadro 5.16.

$$T_{RSET} = 50,09s + 240s + (1,5 \cdot 434,16s) = 941,33s = 16m41s \quad (5.1)$$

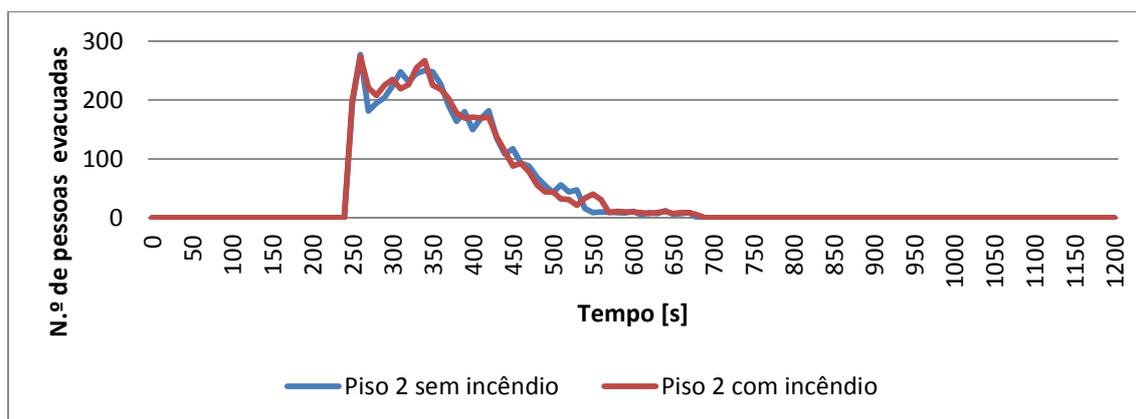


Figura 5.16 - Evolução do número de pessoas evacuadas no piso 2 em situação de incêndio e de não incêndio.

Inerentemente ao tempo de evacuação apresentado, outros parâmetros podem ser estudados e analisados nomeadamente quanto às diferenças na consideração do fator de segurança imputado ao tempo de evacuação calculado. A fórmula proposta por Korhonen e Hostikka (2009), equação (4.6), não inclui o fator de segurança: a aplicação dessa equação reduziria o tempo de evacuação do edifício em situação de incêndio em 217,08 segundos (3 minutos e 37 segundos), Quadro 5.16.

Outro fator importante é a análise das diferenças entre os tempos de evacuação nos cenários de incêndio e de sem incêndio. No piso 2 esta diferença é pouco significativa, de 9,47 segundos (1,01%). Esta diferença tem inerente o facto de o fumo do incêndio afetar poucos ocupantes e conseqüentemente a influência da redução da velocidade de deslocamento dos ocupantes no tempo de evacuação é pouco perceptível.

Quadro 5.16 - Diferentes momentos do tempo de evacuação no piso 2 com e sem incêndio.

	Sem incêndio	Com incêndio	Variância
Tempo necessário para a deteção de incêndio [s]	50,00	50,09	0,09
Tempo de pré-movimento [s]	240	240	-
Tempo de saída do primeiro ocupante [s]	241,06	240,83	-0,23 (-0,10%)
Tempo de saída do último ocupante [s]	668,97	674,99	6,02 (0,89%)
Tempo de movimento [s]	427,91	434,16	6,25 (1,44%)
Tempo de evacuação sem fator de segurança [s]	717,91	724,25	6,34 (0,88%)
Tempo de evacuação com fator de segurança [s]	931,87	941,33	9,47 (1,01%)
Diferença entre ASET e RSET [s]	868,14	858,67	-9,47 (-1,10%)
Diferença entre o tempo de evacuação com fator de segurança e sem fator de segurança [s]	213,96	217,08	3,13 (1,44%)

Do estudo da velocidade de deslocamento dos ocupantes, apresentado no Quadro 5.17, as variações, à semelhança do tempo de evacuação são mínimas, 0,009m/s para a velocidade inicial e 0,002m/s na variação da velocidade no percurso de evacuação, também como apresentado na Figura 5.17. A velocidade média de deslocamento dos ocupantes na situação de incêndio é ligeiramente maior, 1,256m/s, como expectável do que sem incêndio, 1,247m/s, Quadro 5.17.

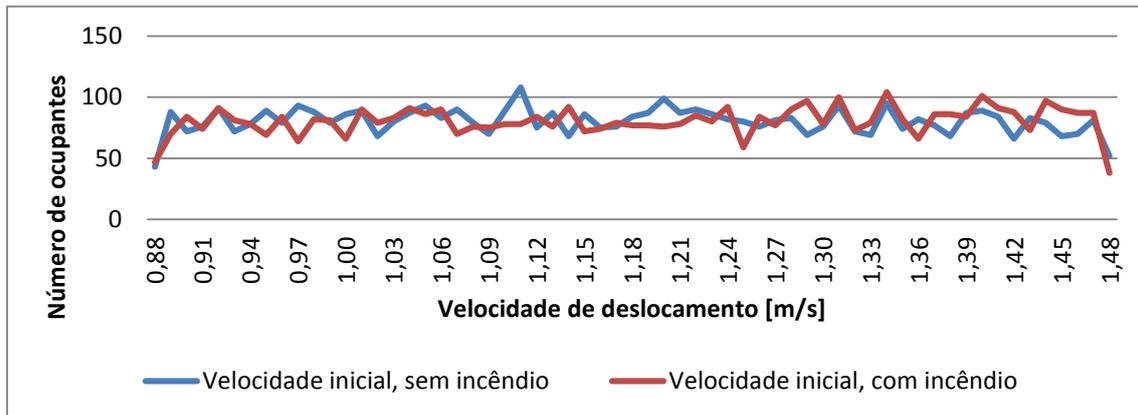


Figura 5.17 - Velocidade inicial dos ocupantes no piso 2.

Quadro 5.17 - Velocidade inicial dos ocupantes e variação da velocidade na evacuação no piso 2.

Cenário 1, piso 2	Velocidade inicial [m/s]			Variação da velocidade [m/s]		
	Intervalo de velocidade	Velocidade inicial média	Desvio padrão	Intervalo de variação [m/s]	Variação média	Desvio padrão
Com incêndio	0,95-1,55	1,256	0,152	0,80-1,2	1,001	0,099
Sem incêndio	0,95-1,55	1,247	0,149	0,80-1,2	0,999	0,101

A influência do fumo na movimentação de pessoas visa os conceitos de toxicidade dos produtos da combustão e de diminuição da visibilidade nos caminhos de evacuação. A diminuta diferença entre os tempos de evacuação na situação de sem e com incêndio deve-se, principalmente, ao facto de a propagação do fumo ser limitada ao compartimento de incêndio no período de evacuação, como se pode observar na Figura 5.24, Figura 5.25 não interferindo na movimentação dos ocupantes, inclusive na fase final de simulação, Figura 5.26.

Como a Figura 5.18 demonstra durante a simulação de incêndio a dose efetiva fracionária máxima (FED) é de 0,05 atingida após o fim da evacuação do piso 2 e até ao fim do tempo de evacuação a dose efetiva fracionária máxima é de 0,02, concentrações de gases baixas refletindo a afirmação anterior.

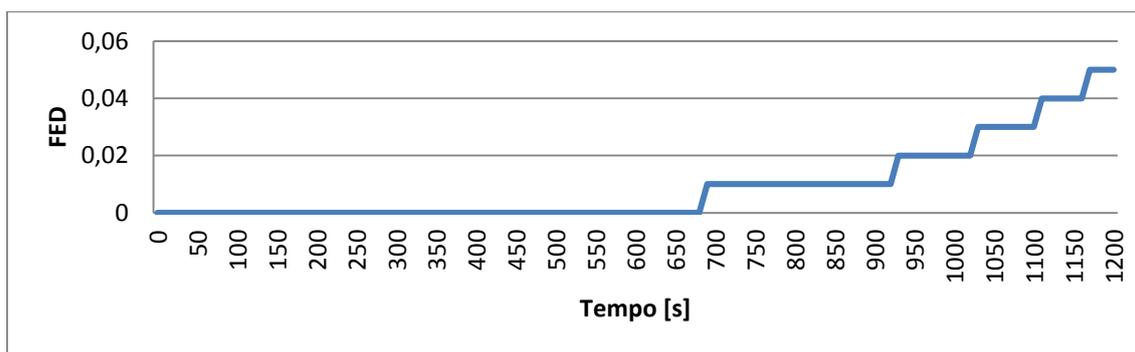


Figura 5.18 - Dose efetiva fracionária (FED) em situação de incêndio no piso 2.

A visibilidade nas VHE também permite entender a diminuta diferença entre os tempos de evacuação em situação de incêndio e de não incêndio porque o aumento da concentração de gases tem inerente a diminuição da velocidade no percurso de evacuação. Os caminhos de evacuação apresentam condições de visibilidade adequadas durante a evacuação não se reduzindo a menos de 13m, cf. Figura 5.19 e a camada de fumo nas vias horizontais encontra-se predominantemente na parte superior do piso. No compartimento de incêndio é reduzida, significativamente, aos 232 segundos, aproximadamente 4m, reduzindo-se até valores na ordem dos 3m nos instantes finais da evacuação.

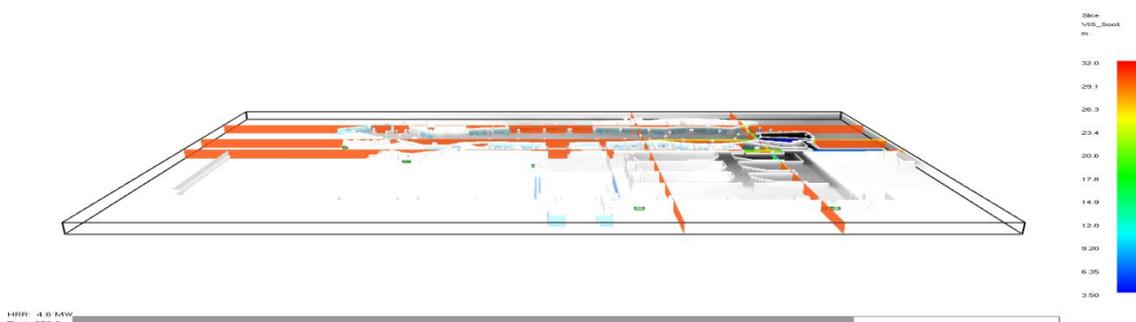


Figura 5.19 - Condições de visibilidade no piso 2 ao fim de 950,0 segundos. (Fonte: Pyrosim, 2014)

A temperatura máxima admissível para o corpo humano é atingida aos 580 segundos no compartimento de incêndio quando no piso 2 faltam evacuar 86 ocupantes. Nas VHE não é notório o aumento da temperatura garantindo-se, Figura 5.20.

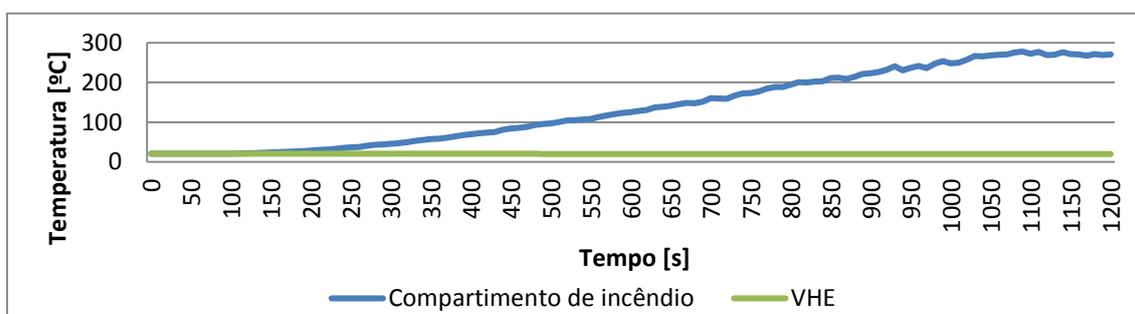


Figura 5.20 - Evolução da temperatura no ambiente no piso 2.

O piso 2 tem 15 saídas, durante a evacuação todas as saídas foram utilizadas com exceção das saídas E.2.10 e E.2.15. As saídas com maior percentagem de utilização foram as saídas E.2.7 (24,6%, 1209 ocupantes), E.2.6 (20,6%, 1012 ocupantes) e E.2.1 *cf.* Figura 5.21 e Quadro 5.18. A E.2.10 é a saída de acesso do espaço de lazer e a E.2.15 é referente à VVE que se situa no centro do edifício rodeada de paredes, *cf.* Figura 5.25 e Figura I.6.

A diferença na seleção das saídas de emergência nas duas simulações, Figura 5.21 e Quadro 5.18, não é significativa com variação máxima de 1,5% na saída E.2.7, a que corresponde a evacuação de menos 73 ocupantes através daquela saída em situação de incêndio comparando com o não incêndio.

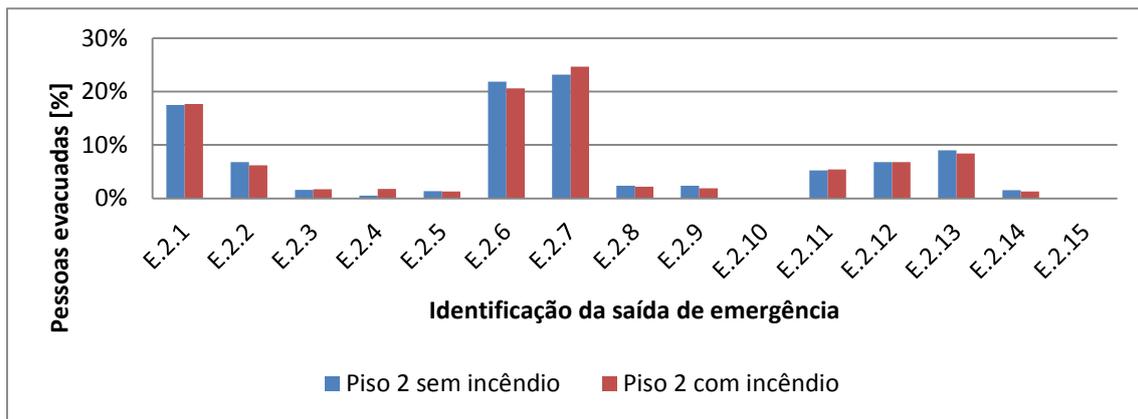


Figura 5.21 - Utilização das saídas do piso 2 com e sem incêndio, cenários 1 e 0 respetivamente.

Quadro 5.18 - Utilização das saídas de emergência do piso 2, com e sem incêndio.

		2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10	2.11	2.12	2.13	2.14	2.15
Com incêndio	%	17,7	6,2	1,7	1,8	1,3	20,6	24,6	2,2	1,9	0,0	5,4	6,8	8,4	1,3	0,0
	p	867	304	84	88	65	1012	1209	107	93	0	266	333	414	64	0
Sem incêndio	%	17,5	6,8	1,6	0,5	1,3	21,8	23,1	2,4	2,4	0,0	5,2	6,8	9,0	1,6	0,0
	p	859	332	78	25	65	1071	1136	117	117	0	254	332	443	77	0
Variância	%	0,2	-0,6	0,1	1,3	-0,01	-1,2	1,5	-0,2	-0,5	0,0	0,2	0,03	-0,6	-0,3	0,0
	p	9	-28	7	63	-1	-59	73	-10	-24	0	12	1	-29	-13	0

As saídas que apresentam fluxos de saída superiores são a E.2.6 com o máximo de 6,8p/s e a E.2.7 de 6,1p/s nomeadamente entre os 250 segundos e 450 segundos sendo neste intervalo (200 segundos) em que a densidade é maior junto às saídas de evacuação, Figura 5.22 e Figura 5.25, e em que é evacuado 85,03% do efetivo de piso, 4172 ocupantes. A saída E.2.13 entre os segundos 340 e 480 também apresenta também fluxos elevados.

As saídas E.2.7, E.2.6 e E.2.1 são pontos de transição com o exterior que apresentam congestionamento, cf. Figura 5.25 e Figura 5.26, o tempo máximo de espera nas saídas é de 60 segundos, 200 segundos e 160 segundos respetivamente. Apesar de as saídas E.2.7 e E.2.6 serem próximas uma da outra, o algoritmo de seleção de saída do FDS+EVAC define os resultados com diferenças significativas.

No algoritmo de seleção de saída do FDS+EVAC, os ocupantes selecionam a rota mais rápida: as saídas de maior utilização localizam-se na praça de restauração à qual foi imputada a maioria dos ocupantes.

O fluxo médio de evacuação em situação de incêndio é de 0,263p/s e em não incêndio de 0,261p/s, Figura 5.22 e Quadro 5.19.

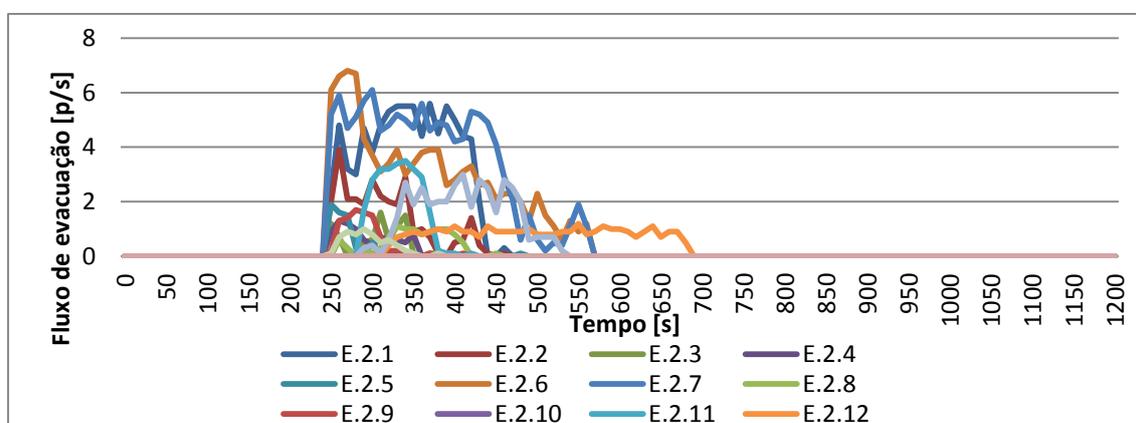


Figura 5.22 - Fluxo de evacuação por saída do piso 2 com incêndio.

Quadro 5.19 - Fluxo de evacuação no piso 2.

Cenário 1, piso 2	Fluxo de evacuação [p/s]		
	Intervalo de fluxos	Fluxo de evacuação médio	Desvio padrão
Com incêndio	0-6,8	0,261	0,459
Sem incêndio	0-6,8	0,263	0,456

O percurso de evacuação adotado pelos agentes no piso 2 até à saída para o exterior é similar ao definido no plano de emergência interno do FC, com exceção dos ocupantes que utilizariam a saída E.2.15 que encaminha para uma VVE. Nos cinemas no programa de simulação são utilizadas duas saídas distintas, estando no plano de emergência do FC apenas sinalizada uma, de acordo com a Figura I.6.

Da análise do plano de emergência do FC e dos caminhos adotados pelos ocupantes, Figura I.6, é também perceptível que saídas próximas obtêm fluxos de evacuação significativamente distintos, e consequentemente os agentes esperam para a saída na saída definida quando próximo existe uma saída sem tempo de espera, são exemplos as saídas E.2.1, E.2.2 e E.2.3. e a E.2.5 face às saídas E.2.6 e E.2.7, Figura 5.26.

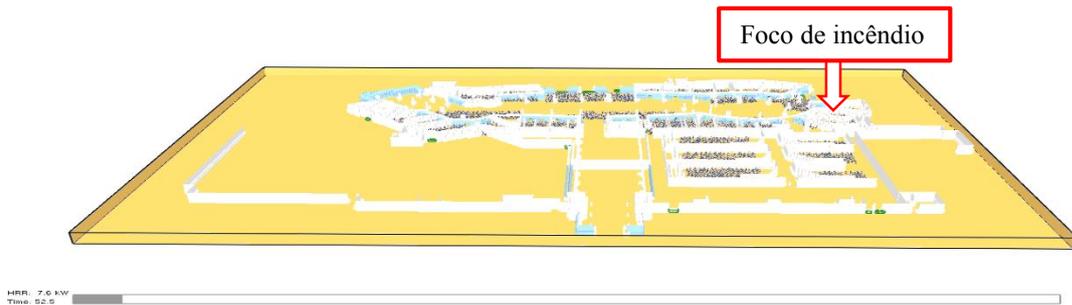


Figura 5.23 - Imagem da simulação de evacuação com incêndio do piso 2 aos 52,5 segundos, cenário 1. (Fonte: Pyrosim, 2014)

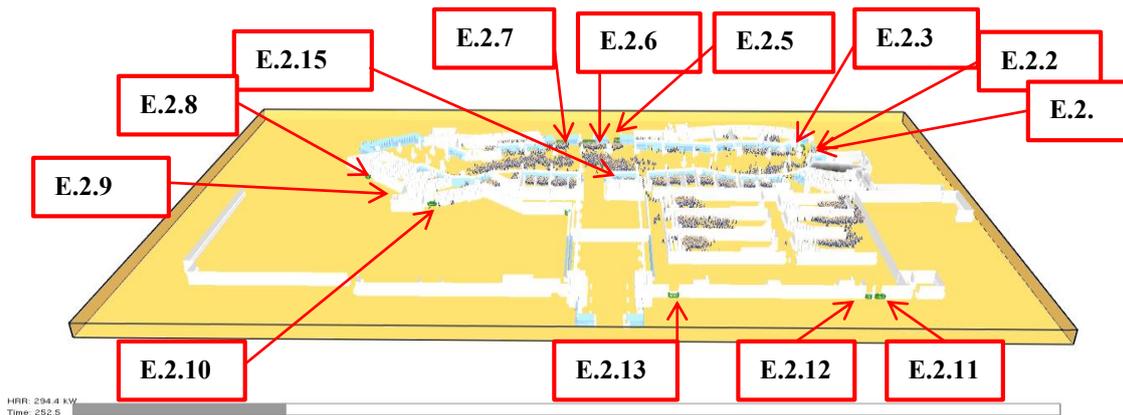


Figura 5.24 - Imagem da simulação de evacuação com incêndio do piso 2 aos 252,5 segundos, cenário 1. (Fonte: Pyrosim, 2014)



Figura 5.25 - Imagem da simulação de evacuação com incêndio do piso 2 aos 352,5 segundos, cenário 1. (Fonte: Pyrosim, 2014)



Figura 5.26 - Imagem da simulação de evacuação com incêndio do piso 2 aos 532,5 segundos, cenário 1. (Fonte: Pyrosim, 2014)

5.3.2. Evacuação do piso 1 com incêndio em loja (cenário 2)

O tempo de movimento dos 2319 ocupantes do piso 1 numa situação de não incêndio é de 472,97 segundos (7 minutos e 53 segundos) e com incêndio de 498,94 segundos (8 minutos e 19 segundos) de acordo com a Figura 5.27 e a Figura 5.35 que representam graficamente e visualmente o período final da evacuação do edifício.

A Figura 5.33 representa a evacuação do piso 1 3,20 segundos após o início do movimento dos ocupantes em direção à saída na situação de incêndio. A diferença entre o tempo de pré-movimento definido (240 segundos) e o primeiro ocupante atingir uma saída é de 2,80 segundos que é o tempo necessário para o primeiro ocupante atingir o exterior através da saída E.1.8.

O tempo de deteção sinalizado pelo detetor do compartimento de incêndio é de 60,18 segundos, Quadro 5.20, com efeito e de acordo com a equação (4.7) o tempo necessário para a evacuação é de 1048,59 segundos (17 minutos e 29 segundos) com o fator de segurança de 50% do tempo de movimento incluído, equação (5.2). Metade da população é evacuada em 130 segundos, entre os 250 e 380 segundos do tempo de simulação.

O tempo disponível para a evacuação (ASET) é superior ao tempo necessário à evacuação total do piso 1 (RSET), nas condições de simulação o edifício garante a evacuação segura dos ocupantes com uma margem de 12 minutos e 31 segundos (741,41 segundos), Quadro 5.20.

$$T_{RSET} = 60,18 + 240s + (1,5 \cdot 498,94s) = 1048,59s = 17m29s \quad (5.2)$$

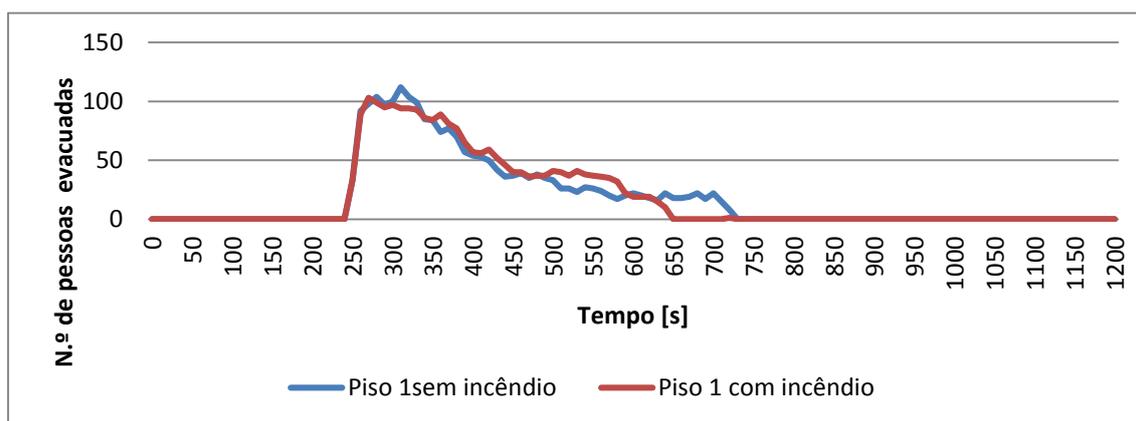


Figura 5.27 - Evolução do número de pessoas evacuadas no piso 1 em situação de incêndio e de não incêndio, cenário 2.

Da análise do Quadro 5.20 conclui-se que a margem de segurança proposta para o cálculo do tempo de evacuação representa 23,8% do tempo de evacuação do edifício para a situação de incêndio.

No piso 1 a diferença entre o tempo de evacuação com incêndio e sem incêndio é de 49,14 segundos (4,69%). A diferença à semelhança do piso 2 (cenário 1) não é significativa, derivado da propagação de fumo se limitar, durante o período de evacuação, ao compartimento de incêndio, Figura 5.35.

Quadro 5.20 - Diferentes momentos do tempo de evacuação no piso 1 com e sem incêndio, cenário 2.

	Sem incêndio	Com incêndio	Variância
Tempo necessário para a deteção de incêndio [s]	50,00	60,18	10,18
Tempo de pré-movimento [s]	240	240	-
Tempo de saída do primeiro ocupante [s]	243,71	242,80	-0,91 (-0,37%)
Tempo de saída do último ocupante [s]	716,68	741,74	25,06 (3,38%)
Tempo de movimento [s]	472,97	498,94	25,97 (5,21%)
Tempo de evacuação sem fator de segurança [s]	762,97	799,12	36,15 (4,52%)
Tempo de evacuação com fator de segurança [s]	999,46	1048,59	49,14 (4,69%)
Diferença entre ASET e RSET[s]	800,55	751,41	-49,14 (-4,69%)
Diferença entre o tempo de evacuação com fator de segurança e sem fator de segurança [s]	236,49	249,47	12,98 (5,21%)

A variação da velocidade inicial dos ocupantes na evacuação é de 1,002m/s para a situação de incêndio e de 1,00m/s para a situação de não incêndio, Quadro 5.12. A variação da velocidade inicial em função da situação de incêndio e de não incêndio é representada na Figura 5.28. A velocidade média de deslocamento dos ocupantes na situação de incêndio é ligeiramente maior, 1,250m/s, do que sem incêndio, 1,24m/s, Quadro 5.21.

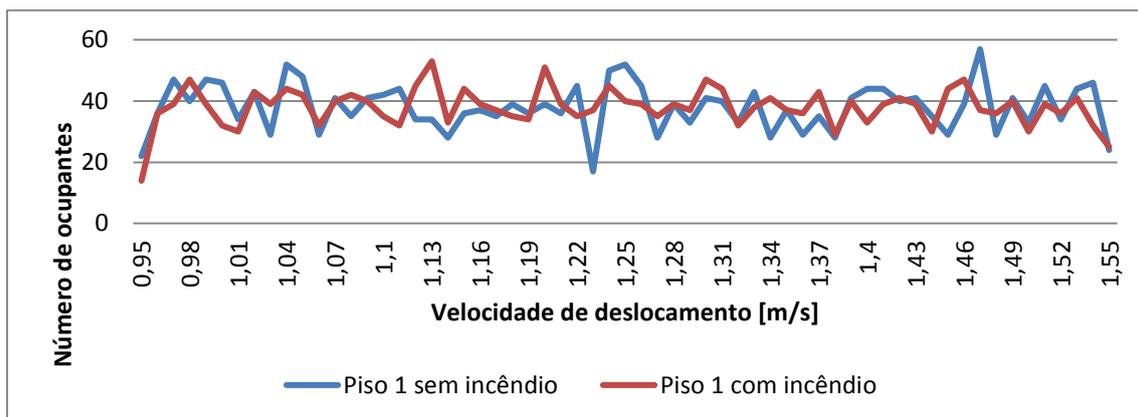


Figura 5.28 - Velocidade inicial dos ocupantes no piso 1, cenário 2.

Quadro 5.21 - Velocidade inicial dos ocupantes e variação da velocidade na evacuação no piso 1, cenário 2.

Cenário 2, piso 1	Velocidade inicial [m/s]			Variação da velocidade [m/s]		
	Intervalo de velocidade	Velocidade inicial média	Desvio padrão	Intervalo de variação [m/s]	Variação média	Desvio padrão
Com incêndio	0,95-1,55	1,250	0,149	0,80-1,2	1,002	0,101
Sem incêndio	0,95-1,55	1,249	0,153	0,80-1,2	1,000	0,099

A dose efetiva fracionária durante a simulação de incêndio (1200 segundos) não foi superior a 0,000. Da equação de cálculo do FED (4.1) infere-se que a influência no deslocamento dos ocupantes nos caminhos de evacuação é quase inexistente.

A visibilidade na saída do compartimento de incêndio é reduzida significativamente aos 540 segundos reduzindo-se até valores na ordem dos 11,5m nos instantes finais da evacuação, Figura 5.32 e os caminhos de evacuação apresentam condições de visibilidade adequadas durante a evacuação não se reduzindo a menos de 15,5m.

A propagação do incêndio é confinada ao compartimento de incêndio durante o período de movimentação das pessoas, contudo a partir dos 686,5 segundos de simulação é visível a presença de fumo nas vias de evacuação.

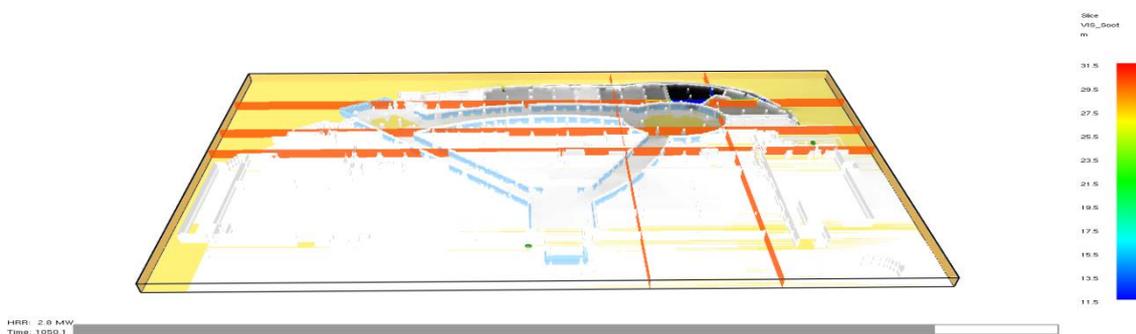


Figura 5.29 - Condições de visibilidade no piso 1 ao fim de 1050,1 segundos, cenário 2. (Fonte: Pyrosim, 2014)

A temperatura máxima admissível para o corpo humano é atingida aos 1140,09 segundos no compartimento de incêndio quando todos os ocupantes foram evacuados do piso 1. Durante o período de evacuação a temperatura no compartimento não é superior a 108°C. Nas VHE durante os 1200 segundos de simulação a temperatura apenas aumenta 5,67°C garantindo-se naquelas as condições de temperatura para a sobrevivência humana, Figura 5.30.

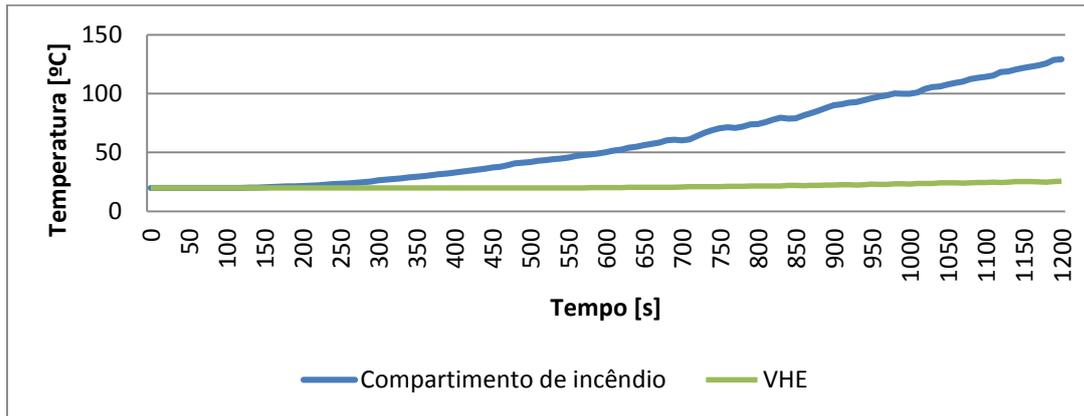


Figura 5.30 - Evolução da temperatura no ambiente no piso 1, cenário 2.

O piso 1 tem 8 saídas de emergência durante a evacuação na situação de incêndio todas as saídas foram utilizadas com exceção da saída E.1.7. As saídas com maior percentagem de utilização foram as saídas E.1.6 (34,4%, 797 ocupantes) e a E.1.8 (30,3%, 703 ocupantes) cf. Figura 5.31 e Quadro 5.22.

A diferença na seleção das saídas de emergência varia no máximo 7,2%, na saída E.1.8, a que corresponde a evacuação de mais 167 ocupantes em situação de incêndio comparando com a de não incêndio e a saída E.1.7 não é utilizada em situação de incêndio e na de sem incêndio utilizada apenas por um ocupante, cf. Figura 5.31 e Quadro 5.22.

As saídas E.1.8, E.1.6 e E.1.4 são pontos de transição com o exterior que apresentam congestionamento, cf. Figura 5.34 e Figura 5.35 e o tempo máximo de espera nas saídas é de 340s e 390s, respetivamente.

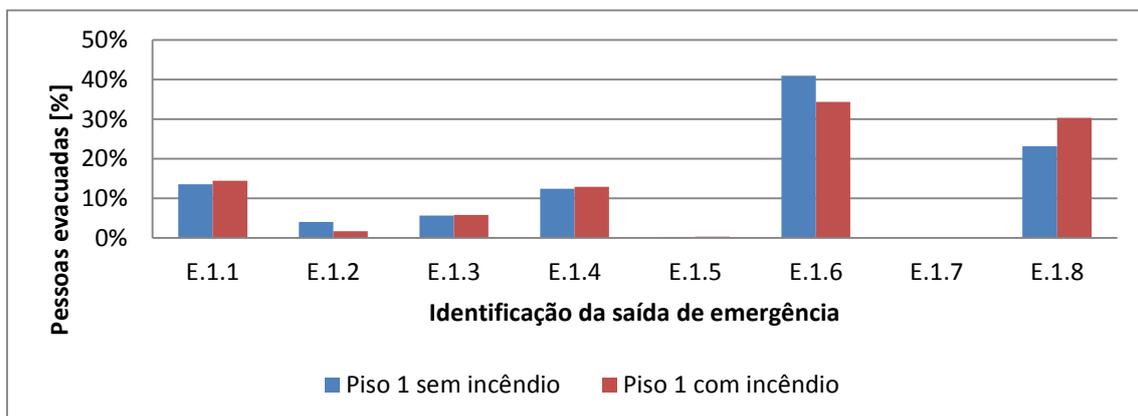


Figura 5.31 - Utilização das saídas do piso 1 com e sem incêndio, cenário 2.

Quadro 5.22 - Utilização das saídas de emergência do piso 1, com e sem incêndio, cenário 2.

		E.1.1	E.1.2	E.1.3	E.1.4	E.1.5	E.1.6	E.1.7	E.1.8
Piso 1 com incêndio	%	14,4	1,7	5,8	12,9	0,4	34,4	0,0	30,3
	p	335	40	135	300	9	797	0	703
Piso 1 sem incêndio	%	13,6	4,0	5,6	12,4	0,3	40,9	0,0	23,1
	p	315	93	131	288	7	949	0	536
Variância	%	0,8	-2,3	0,2	0,5	0,1	-6,5	0,0	7,2
	p	20	-53	4	12	2	-152	0	167

As saídas utilizadas por maior número de ocupantes apresentam fluxos de saída superiores, a saída E.1.4 com o fluxo máximo de 2,4p/s, a E.1.6 com 2,30p/s e a E.1.8 com 2,20p/s nomeadamente entre os 250 segundos e 650 segundos e consequentemente o fluxo de saída é maior junto a estas saídas de evacuação e nesses intervalos, Figura 5.32, em que é evacuado 94% do efetivo de piso, 2180 ocupantes. O fluxo médio de evacuação é de 0,225p/s com incêndio e de 0,226p/s sem incêndio, Quadro 5.23.

Com exceção da saída E.1.5 todas as saídas de emergência apresentam, em algum momento da evacuação fluxos superiores a 1p/s. A saída E.1.4 apresenta fluxos superiores às saídas com maior número de ocupantes nomeadamente entre os instantes 260 segundos e 380 segundos, evacuando nesse intervalo 249 ocupantes, Figura 5.34.

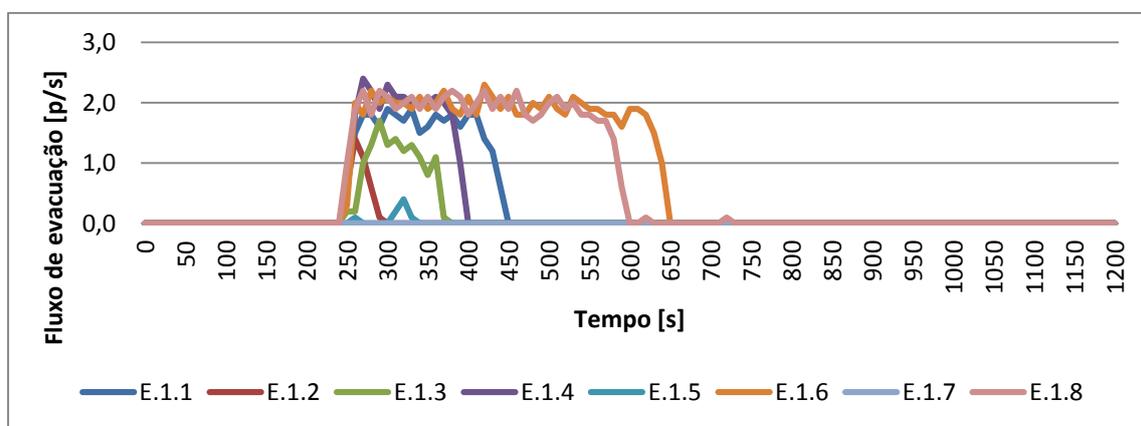


Figura 5.32 - Fluxo de evacuação por saída do piso 1 com incêndio, cenário 2.

Quadro 5.23 - Fluxo de evacuação no piso 1, cenário 2.

Cenário 2, piso 1	Fluxo de evacuação [p/s]		
	Intervalo de fluxos	Fluxo de evacuação médio	Desvio padrão
Com incêndio	0,00-2,40	0,225	0,390
Sem incêndio	0,00-2,30	0,226	0,387

O percurso de evacuação adotado pelos agentes no piso 1 até à saída para o exterior é similar ao definido no plano de emergência interno do FC, com exceção dos ocupantes utilizam outros compartimentos para atingirem as VHE, como os ocupantes dos compartimentos 94 a 97 e 65 e 66 que utilizam o compartimento 67 para atingirem a saída E.1.1 que, de acordo com o plano de emergência interno do FC seria uma saída de emergência de uma loja âncora e os do compartimento 87 que utilizam o 88 para atingirem a VHE até à saída 2 E.1.6, entre outros, Figura I.4.



Figura 5.33 - Imagem da simulação de evacuação com incêndio do piso 1 aos 246 segundos, cenário 2. (Fonte: Pyrosim, 2014)

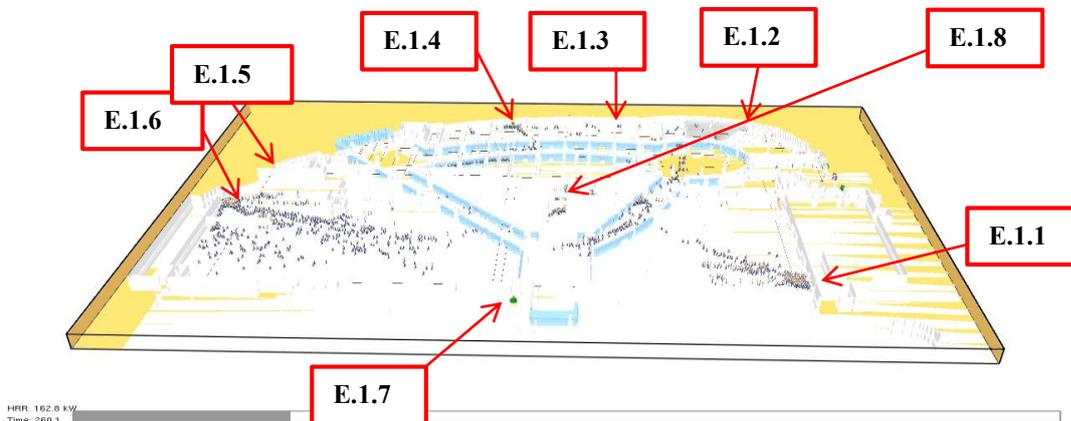


Figura 5.34 - Imagem da simulação de evacuação com incêndio do piso 1 aos 260,5 segundos, cenário 2. (Fonte: Pyrosim, 2014)

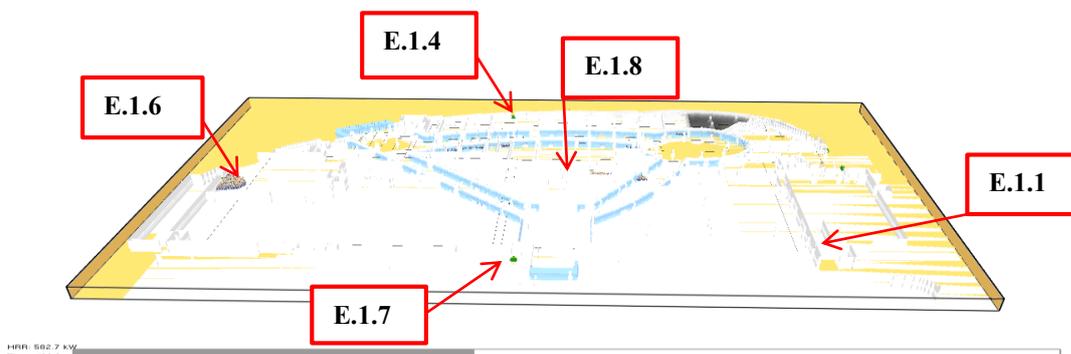


Figura 5.35 - Imagem da simulação de evacuação com incêndio do piso 1 aos 456 segundos, cenário 2. (Fonte: Pyrosim, 2014)

5.3.3. Evacuação do piso 1 com incêndio em loja, com nível de conhecimento atribuído às saídas E.1.5 e E.1.7 (cenário 2.1)

Na análise do cenário de incêndio 2.1 importa realçar que o movimento dos ocupantes apenas foi estudado em situação de incêndio e ainda que, em virtude de o cenário do incêndio ser igual ao do cenário de incêndio os resultados relativos à fenomenologia da combustão são iguais aos do cenário 2: tempo de deteção de incêndio, condições de gases, de temperatura e de visibilidade do ambiente. Com efeito, neste subcapítulo somente se apresentarão os resultados relativos à evacuação do edifício, sendo que os dados relativos ao incêndio deverão de ser consultados no capítulo 5.3.2.

O tempo de movimento dos 2319 ocupantes do piso 1 numa situação de incêndio atribuindo-se um índice de conhecimento às saídas de emergência E.1.5 e E.1.7 é de 502,14 segundos (8 minutos e 22 segundos). Nas mesmas condições de incêndio mas sem indicie de conhecimento das saídas mais utilizadas pelos ocupantes em simulações de treino (de acordo com informações dos responsáveis pela gestão da segurança do FC) e por isso considerando somente os parâmetros atribuídos pelo FDS+EVAC é de 498,94 segundos (8 minutos e 19 segundos) como descrito no capítulo 5.3.2 e de acordo com a Figura 5.27 que representa graficamente e visualmente o período final da evacuação do edifício.

A diferença entre o tempo de pré-movimento definido (240 segundos) e o primeiro ocupante atingir uma saída no cenário 2.1 é de 3,13 segundos que é o tempo necessário para o primeiro ocupante atingir o exterior através da saída E.1.8. Condições iniciais de saída idênticas ao cenário 2, Figura 5.40.

Como anteriormente descrito, uma vez que são consideradas as mesmas condições de incêndio tanto para o cenário 2 como para o 2.1, o tempo de deteção sinalizado pelo detetor do compartimento de incêndio é de 60,18 segundos, o mesmo do cenário 2. Com efeito o tempo necessário para a evacuação é de 1053,39 segundos (17 minutos e 33 segundos) com o fator de segurança de 50% do tempo de movimento incluído, equação (5.4). Metade da população é evacuada em 110 segundos, entre os 250 e 360 segundos do tempo de simulação, Figura 5.41 e Figura 5.42.

O tempo necessário para a evacuação do piso 1 com atribuição do nível de conhecimento das saídas de emergência E.1.5 e E.1.7 (cenário 2.1) é 4,45 segundos superior ao tempo necessário para a evacuação calculado pelo cenário 2, comparando as equações (5.2) e (5.3).

O tempo disponível para a evacuação (ASET) é superior ao tempo necessário à evacuação total do piso 1 (RSET): nas condições de simulação o edifício garante a evacuação segura dos ocupantes com uma margem de 12 minutos e 26 segundos (746,61 segundos), Quadro 5.28.

A diminuição abrupta do número de ocupantes evacuados que se verifica aos 660 segundos no cenário de incêndio e com conhecimento das saídas de evacuação tem inerente a diminuição do número de pessoas evacuadas: a partir daquele instante todos os ocupantes são evacuados através da E.1.5, Figura 5.36 e Figura 5.39

$$T_{RSET} = 60,18 + 240s + (1,5 \cdot 502,14s) = 1053,39s = 17m33s \quad (5.3)$$

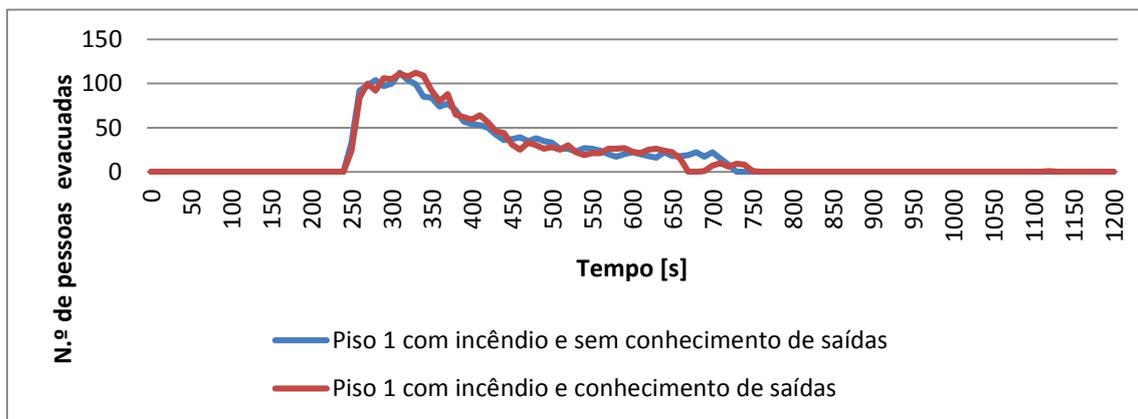


Figura 5.36 - Evolução do número de pessoas evacuadas no piso 1 no cenário de incêndio com e sem índice de conhecimento das saídas E.1.5 e E.1.7, cenário 2.1.

Da análise Quadro 5.24 conclui-se que a margem de segurança proposta para o cálculo do tempo de evacuação é de 41,48% do tempo necessário para a evacuação do edifício nas condições de conhecimento das saídas de evacuação, considerando o cálculo do tempo de evacuação conforme a equação (5.3).

No que se consta aos tempos de evacuação, pela análise do Quadro 5.24 e da Figura 5.36 conclui-se que as diferenças não são significativas, nos cenários de incêndio no piso 1 sem e com atribuição de índices de conhecimento às saídas de evacuação E.1.5 e E.1.7, cenários 2 e 2.1 respetivamente.

Quadro 5.24 - Diferentes momentos do tempo de evacuação no piso 1 com incêndio e com e sem conhecimento das saídas de evacuação, cenário 2.1.

	Cenário 2	Cenário 2.1	Variância
Tempo necessário para a detecção de incêndio [s]	60,18	60,18	-
Tempo de pré-movimento [s]	240	240	-
Tempo de saída do primeiro ocupante [s]	242,80	243,13	-0,33 (-0,14%)
Tempo de saída do último ocupante [s]	741,74	745,27	-3,53 (-0,48%)
Tempo de movimento [s]	498,94	502,14	-3,20 (-0,64%)
Tempo de evacuação sem fator de segurança [s]	799,12	802,32	-3,20 (-0,40%)
Tempo de evacuação com fator de segurança [s]	1048,59	1053,39	-4,80 (-0,46%)
Diferença entre ASET e RSET [s]	751,41	746,61	-4,80 (-0,64%)
Diferença entre o tempo de evacuação com fator de segurança e sem fator de segurança [segundos]	249,47	251,07	-1,60 (-0,641%)

A variação da velocidade inicial dos ocupantes na evacuação é de 1,248m/s para a situação de incêndio com conhecimento das saídas de evacuação, Quadro 5.29. A variação da velocidade inicial em função da situação de conhecimento e desconhecimento das saídas de evacuação é representada na Figura 5.37, considerando-se, globalmente, diminuta.

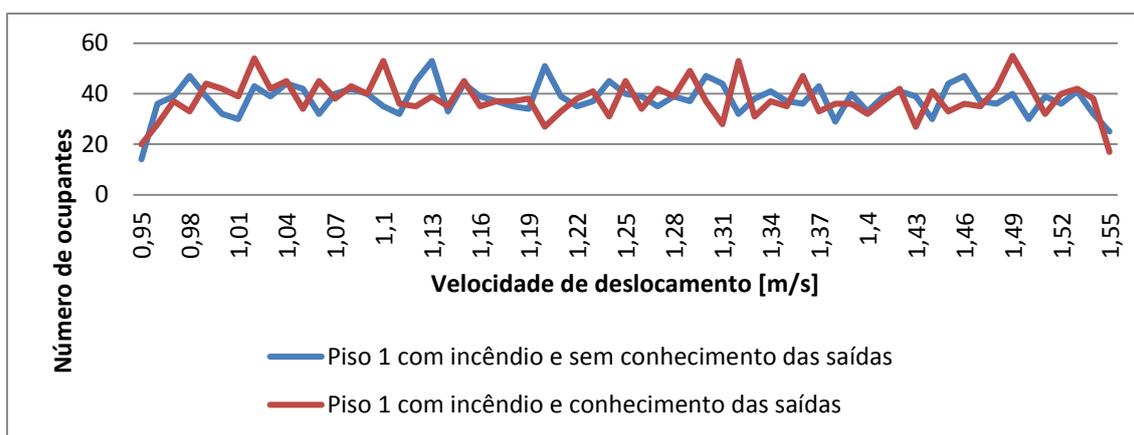


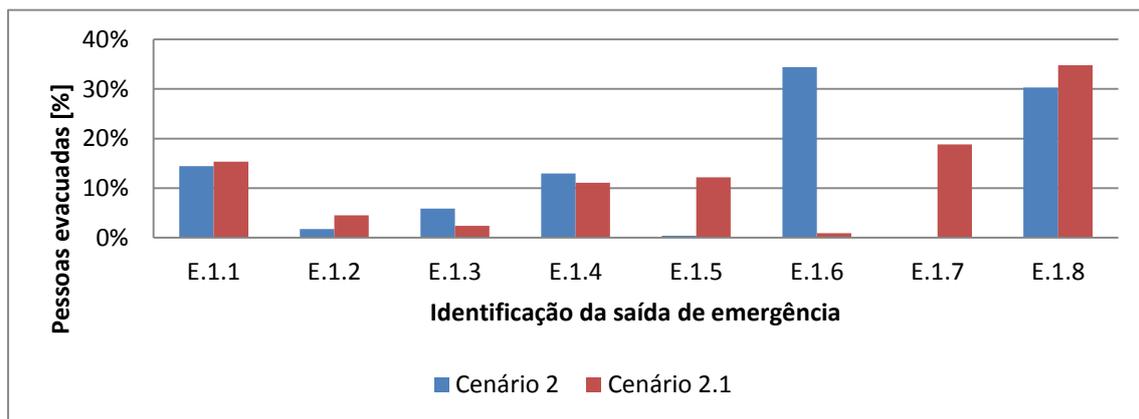
Figura 5.37 - Velocidade inicial dos ocupantes no piso 1, com incêndio e com e sem conhecimento das saídas de evacuação, cenário 2.1.

Quadro 5.25 - Velocidade inicial dos ocupantes e variação da velocidade na evacuação no piso 1, com incêndio e com e sem conhecimento das saídas de evacuação, cenário 2.1.

Piso 1	Velocidade inicial [m/s]			Variação da velocidade [m/s]		
	Intervalo de velocidade	Velocidade inicial média	Desvio padrão	Intervalo de variação [m/s]	Variação média	Desvio padrão
Cenário 2	0,95-1,55	1,250	0,149	0,80-1,2	1,002	0,101
Cenário 2.1	0,95-1,55	1,248	0,148	0,80-1,2	1,248	0,151

Com a atribuição do índice de conhecimento às saídas E.1.5 e E.1.7 como expeável a dinâmica de seleção das saídas altera-se significativamente, como se conclui comparando os resultados entre o cenário 2 e o cenário 2.1 na Figura 5.38 e no Quadro 5.30.

Com a atribuição do índice de conhecimento às saídas de evacuação, a saída mais selecionada no cenário 2 torna-se a menos utilizada no cenário 2.1 (E.1.6) com uma variação de 33,5% (menos 777 ocupantes). Em contraste as saídas E.1.5 e E.1.7 aumentaram o nível de utilização de 0,4% para 12,2% (de 9 para 283 ocupantes) e de 0% para 18,8% (de 0 para 436 ocupantes), respetivamente. A saída E.1.8 em ambos os cenários foi amplamente utilizada.

**Figura 5.38 - Utilização das saídas do piso 1 com e sem incêndio, com incêndio e com e sem conhecimento das saídas de evacuação, cenário 2.1.****Quadro 5.26 - Utilização das saídas de emergência do piso 1, com incêndio e com e sem conhecimento das saídas de evacuação, cenário 2.1.**

		E.1.1	E.1.2	E.1.3	E.1.4	E.1.5	E.1.6	E.1.7	E.1.8
Cenário 2	%	14,4	1,7	5,8	12,9	0,4	34,4	0,0	30,3
	p	335	40	135	300	9	797	0	703
Cenário 2.1	%	15,3	4,5	2,4	11,1	12,2	0,9	18,8	34,8
	p	355	104	56	257	283	21	436	807
Variância	%	-0,9	-2,8	3,4	1,8	-11,8	33,5	-18,8	-4,5
	p	-20	-64	79	42	-274	777	-436	-104

As saídas utilizadas por maior número de ocupantes apresentam fluxos de saída superiores: as saídas E.1.4, E.1.7 e E.1.8 apresentam o fluxo máximo de 2,2p/s aos 320 segundos, 290 segundos e 330 segundos, respetivamente. Outras saídas de evacuação apresentam fluxos de saída elevados, nomeadamente as saídas E.1.1 e E.1.2, a Figura 5.42 de simulação. Por outro lado, a E.1.3 tem o fluxo mínimo de 1,0p/s.

Comparativamente ao cenário 2, a saída E.1.4 também apresenta o fluxo de saída mais elevado, seguida da E.1.8. contudo a E.1.6 diminui o seu fluxo de evacuação máximo de 2,30p/s para 1,10p/s do cenário 2 para o cenário 2.1, respetivamente.

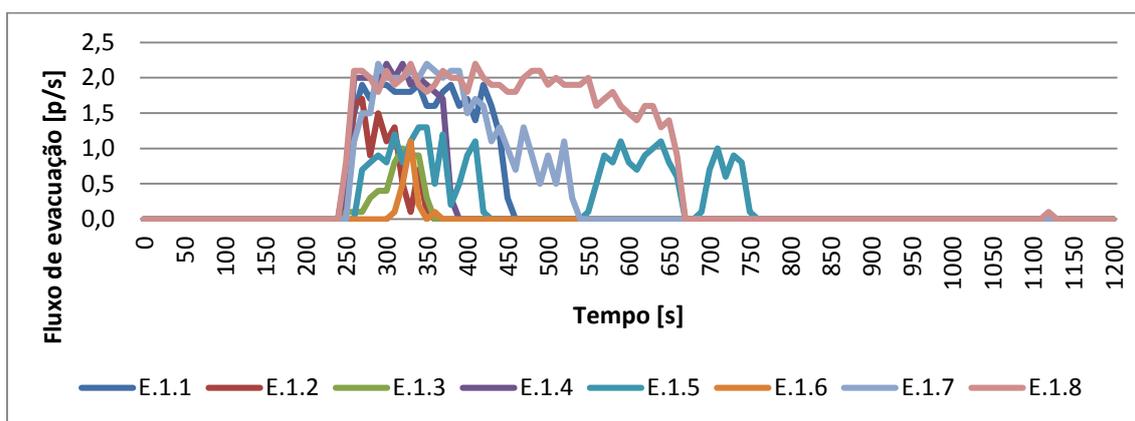


Figura 5.39 - Fluxo de evacuação por saída do piso 1 com incêndio e índice de conhecimento atribuído às saídas de evacuação E.1.5 e E.1.7, cenário 2.1.

Quadro 5.27 - Fluxo de evacuação no piso 1, cenário 2.1.

	Fluxo de evacuação [p/s]		
	Intervalo de fluxos	Fluxo de evacuação médio	Desvio padrão
Cenário 2	0,00-2,40	0,225	0,390
Cenário 2.1	1,00-2,20	0,227	0,378

O percurso de evacuação adotado pelos agentes no piso 1 até à saída com índices de conhecimento atribuídos para as saídas E.1.5 e E.1.7 é idêntico ao do cenário 2, com exceção do caminho adotado pelos ocupantes que utilizam as referidas saídas, de acordo com a Figura I.5 do anexo I. Mas como expectável as maiores diferenças verificam-se ao nível das saídas para as quais foi definido um índice de conhecimento E.1.5 e E.1.7, como anteriormente descrito. A variação significativa da E.1.6 também deverá ser considerada, o escoamento dos ocupantes desta saída foi distribuído pela E.1.5 e a E.1.7. Ainda no que se refere à análise dos caminhos de evacuação, comparando a Figura I.4 e Figura I.5 conclui-se que para tempos finais de evacuação nas saídas semelhantes um maior número de pessoas são evacuadas: são exemplo a saída E.1.1 que no cenário 2.1 para um tempo final menor evacuou mais pessoas e conseqüentemente apresenta fluxos maiores, também como verificável pela comparação da Figura 5.32 com Figura 5.39.

A proximidade das saídas de evacuação E.1.2 e E.1.3 e a diferença de resultados entre os cenários 2 e 2.1 é significativa: na primeira aumentou em 64 o número de ocupantes evacuados em apenas mais 8,38 segundos e na segunda diminuiu em 79 o número de ocupantes evacuados apesar de o tempo final de evacuação para a saída também ter diminuído em 72,32 segundos. Uma vez que as condições de largura se mantiveram nos cenários, concluiu-se que as variações no número de pessoas evacuadas têm influência na mobilidade das pessoas, principalmente junto dos pontos de transição, nesta situação das saídas.

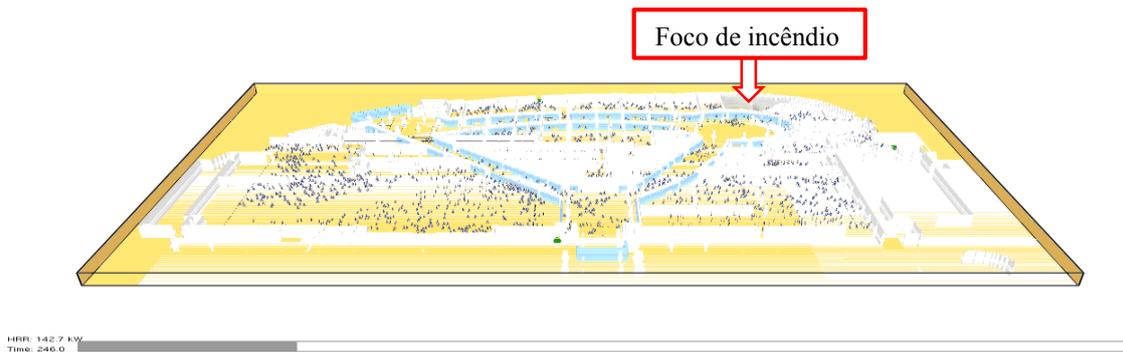


Figura 5.40 - Imagem da simulação de evacuação com incêndio do piso 1 aos 246 segundos, cenário 2.1. (Fonte: Pyrosim, 2014)



Figura 5.41 - Imagem da simulação de evacuação com incêndio do piso 1 aos 260,2 segundos, cenário 2.1. (Fonte: Pyrosim, 2014)

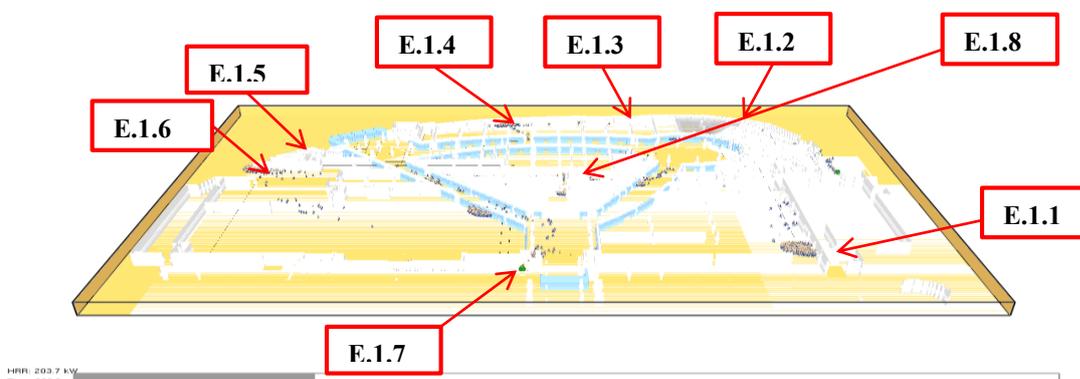


Figura 5.42 - Imagem da simulação de evacuação com incêndio do piso 1 aos 290,2 segundos, cenário 2.1. (Fonte: Pyrosim, 2014)

5.3.4. Evacuação do piso 0 com incêndio em loja (cenário 3)

O tempo de movimento dos 3456 ocupantes do piso 0 no cenário de incêndio numa loja é de 381,0 segundos (5 minutos e 18 segundos) de acordo com a Figura 5.43 e a Figura 5.52. O incêndio é detetado aos 50,35 segundos e a Figura 5.50 representa a posição inicial dos ocupantes antes de iniciarem o movimento em direção à saída. A diferença entre o tempo de pré-movimento e o tempo necessário para o primeiro ocupante atingir a saída (E.0.1) é de 3,65 segundos.

Com efeito e de acordo com a equação (4.7) o tempo necessário para a evacuação é de 767,44 segundos (12 minutos e 47 segundos) com o fator de segurança de 50% do tempo de movimento incluído, equação (5.2). Metade da população é evacuada aproximadamente em 110 segundos.

O tempo disponível para a evacuação (ASET) é superior ao tempo necessário à evacuação total do piso 0 (RSET) com efeito pode afirmar-se que nas condições de simulação o edifício garante a evacuação segura dos ocupantes, com uma margem de 17 minutos e 13 segundos.

$$T_{RSET} = 50,35 + 240s + (1,5 \cdot 318,06s) = 767,44s = 12m47s \quad (5.4)$$

As flutuações após o final do tempo de evacuação no cenário de sem incêndio são decorrentes do descrito posteriormente no capítulo 5.4.1, Quadro 5.36.

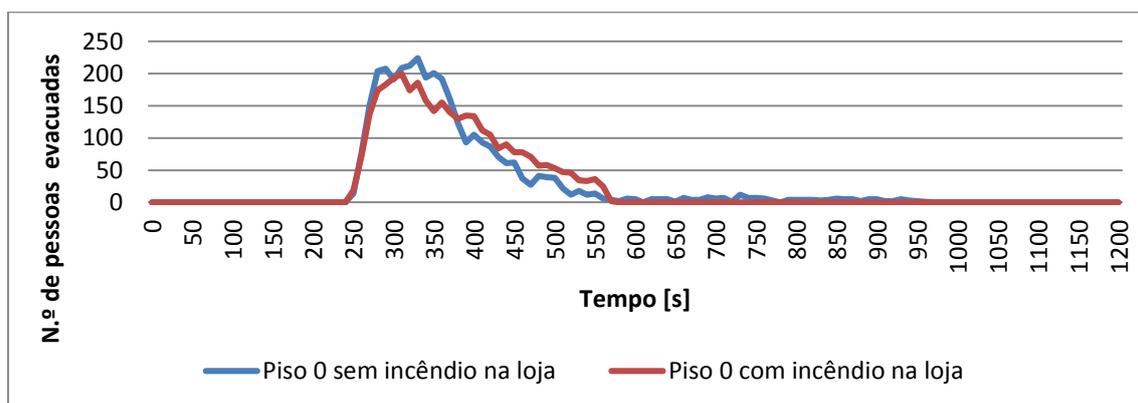


Figura 5.43 - Evolução do número de pessoas evacuadas no piso 0 com e sem incêndio na loja, cenários 3.

O Quadro 5.28 caracteriza os tempos relativos à evacuação do piso 0 com incêndio e sem incêndio na loja, cenário 3. Dos resultados, salienta-se a margem de segurança proposta para o cálculo do tempo de evacuação que representa 20,72% do tempo de evacuação do edifício para a situação de incêndio, semelhante aos cenários anteriores.

No piso 0 a diferença entre o tempo de evacuação com incêndio e sem incêndio é de 13,12 segundos (1,71%). Relativamente aos cenários anteriores a diferença não é significativa, derivada da propagação de fumo se limitar, durante o período de evacuação, ao compartimento de incêndio, Figura 5.52.

Quadro 5.28 - Diferentes momentos do tempo de evacuação no piso 0 com e sem incêndio em loja, cenário 3.

	Sem incêndio	Com incêndio	Variância
Tempo necessário para a deteção de incêndio [s]	50,00	50,35	0,35
Tempo de pré-movimento [s]	240	240	-
Tempo de saída do primeiro ocupante [s]	240,92	243,65	2,73 (1,12%)
Tempo de saída do último ocupante [s]	550,47	561,71	11,24 (2,00%)
Tempo de movimento [s]	309,55	318,06	8,51 (2,68%)
Tempo de evacuação sem fator de segurança [s]	599,55	608,41	8,86 (1,46%)
Tempo de evacuação com fator de segurança [s]	754,33	767,44	13,12 (1,71%)
Diferença entre ASET e RSET [s]	1045,68	1032,56	-13,12 (-1,27%)
Diferença entre o tempo de evacuação com fator de segurança e sem fator de segurança [s]	154,78	159,03	4,26 (2,68%)

A redução da velocidade inicial dos ocupantes na evacuação é de 1,002/s para a situação de incêndio e de 0,999m/s para a situação de não incêndio, Quadro 5.29 e a velocidade média de deslocamento dos ocupantes na situação de incêndio é ligeiramente maior, 1,251m/s, do que sem incêndio, 1,245pm/s. A variação da adoção da velocidade inicial em função da situação de incêndio e de não incêndio é representada na Figura 5.44.

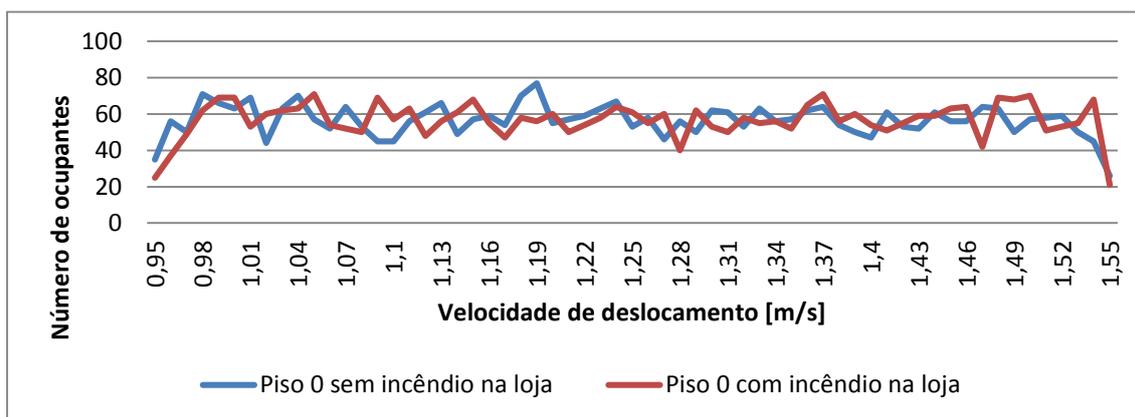


Figura 5.44 - Velocidade inicial dos ocupantes no piso 0 na loja, cenário 3.

Quadro 5.29 - Velocidade inicial dos ocupantes e variação da velocidade na evacuação no piso 0 na loja, cenário 3.

Cenário 3, piso 0	Velocidade inicial [m/s]			Variação da velocidade [m/s]		
	Intervalo de velocidade	Velocidade inicial média	Desvio padrão	Intervalo de variação [m/s]	Variação média	Desvio padrão
Com incêndio	0,95-1,55	1,251	0,101	0,80-1,2	1,002	0,099
Sem incêndio	0,95-1,55	1,245	0,1495	0,80-1,2	0,999	0,101

De acordo com a dose efetiva fracionária atingida aos 930 segundos de simulação de 0,00007885 e com a equação de cálculo do FED (4.1) infere-se que a influência no deslocamento dos ocupantes nos caminhos de evacuação é diminuta, Figura 5.45.

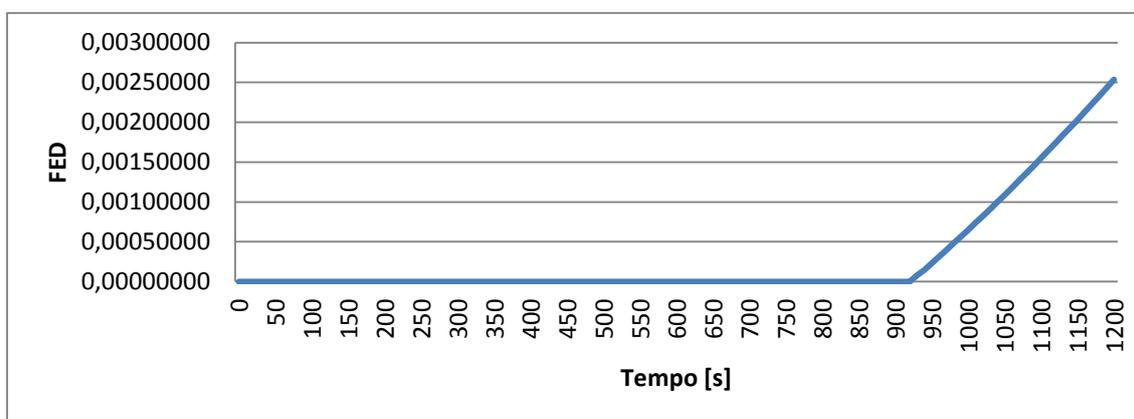


Figura 5.45 - Dose efetiva fracionária em situação de incêndio no piso 0 na loja, cenário 3.

A visibilidade na saída do compartimento de incêndio é reduzida aos 400 segundos reduzindo-se até valores na ordem dos 12,4m nos instantes finais da evacuação, Figura 5.46. Os caminhos de evacuação apresentam condições de visibilidade adequadas durante a evacuação. A propagação do incêndio na simulação é confinada ao compartimento de incêndio durante o período de movimentação das pessoas.

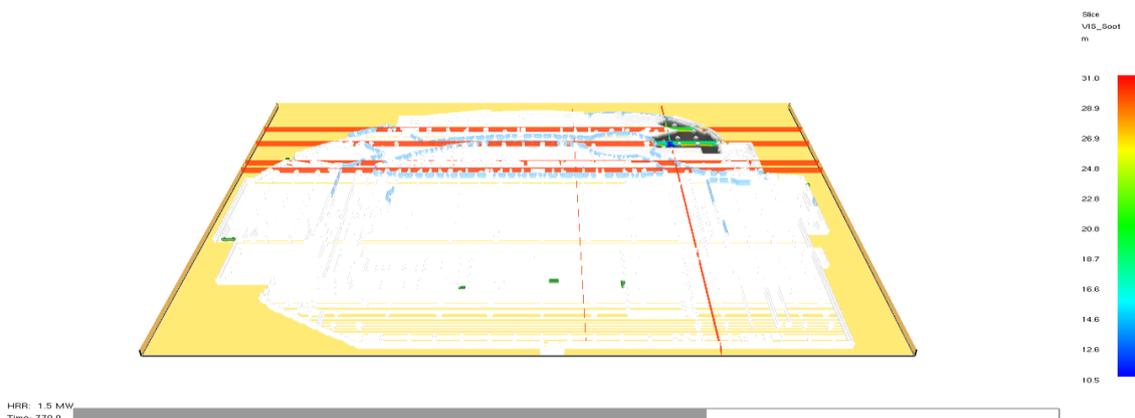


Figura 5.46 - Condições de visibilidade no piso 0 na loja ao fim de 770,7 segundos, cenário 3. (Fonte: Pyrosim, 2014)

A temperatura máxima no compartimento de incêndio atingida aos 1200 segundos de simulação ($84,12^{\circ}\text{C}$) é inferior à temperatura máxima admissível para o ser humano. Nas VHE contudo, ao contrário de em cenários anteriores, aumenta ligeiramente até 40°C aos 1200 segundos, Figura 5.47.

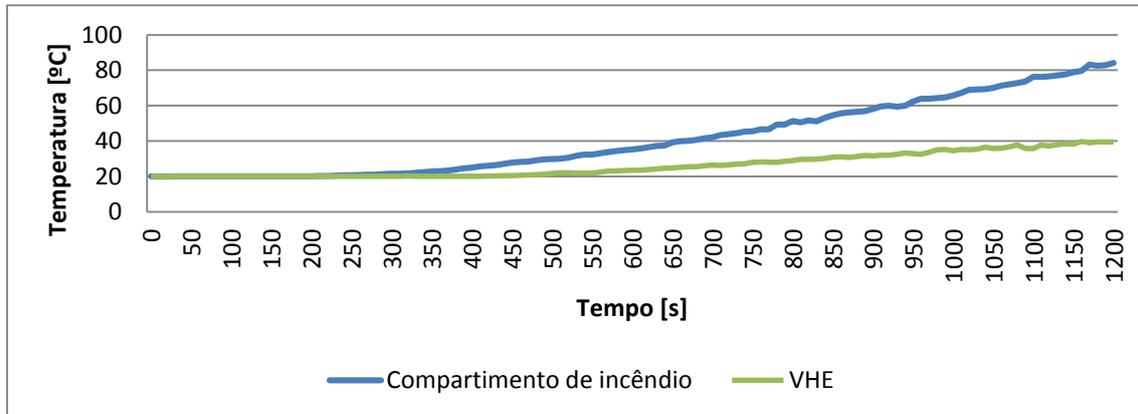


Figura 5.47 - Evolução da temperatura no ambiente no piso 0 na loja, cenário 3.

O piso 0 tem 9 saídas de emergência durante a evacuação nas situações de incêndio e sem incêndio todas as saídas foram utilizadas com exceção da saída E.0.6. As saídas com maior percentagem de utilização foram as saídas E.0.8 (31,5%, 1088 ocupantes) e a E.0.7 (29,1%, 1005 ocupantes) *cf.* Figura 5.48 e Quadro 5.30, conseqüentemente estas saídas e a E.0.3 (com 24,1% de utilização) apresentam fluxos de saída maiores, *cf.* na Figura 5.49 a Figura 5.51 e Quadro 5.31.

A diferença na seleção das saídas de emergência varia no máximo 8,7%, na saída E.0.8, a que corresponde a evacuação de mais 299 ocupantes em situação de incêndio comparando com o não incêndio, Figura 5.49 e Quadro 5.31.

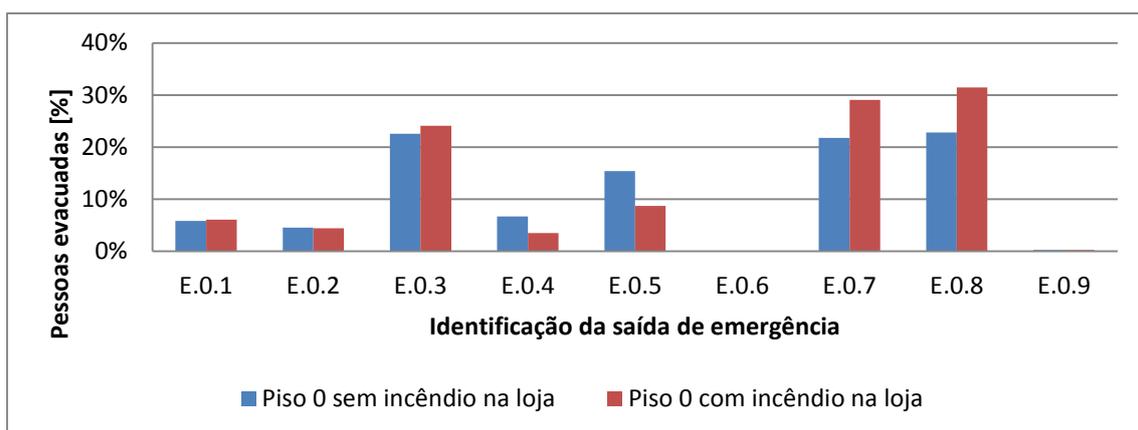


Figura 5.48 - Utilização das saídas do piso 0 com e sem incêndio na loja, cenário 3.

Quadro 5.30 - Utilização das saídas de emergência do piso 0 com e sem incêndio na loja, cenário 3.

		E.0.1	E.0.2	E.0.3	E.0.4	E.0.5	E.0.6	E.0.7	E.0.8	E.0.9
Cenário 3 com incêndio	%	6,1%	4,5%	24,1%	3,5%	8,7%	0,0%	29,1%	31,5%	0,3%
	p	211	154	834	121	302	0	1005	1088	9
Cenário 3 sem incêndio	%	5,8%	4,6%	22,6%	6,7%	15,4%	0,0%	21,8%	22,8%	0,3%
	p	202	158	780	232	533	0	753	789	9
Variância	%	0,3%	-0,1%	1,6%	-3,2%	-6,7%	0,0%	7,3%	8,7%	0,0%
	p	9	-4	54	-111	-231	0	252	299	0

As saídas utilizadas por maior número de ocupantes apresentam fluxos de saída superiores: a saída E.0.7 com o fluxo máximo de 7,0p/s, a E.0.3 com 4,10p/s e a E.0.8 com 3,90p/s e congestionamento, nomeadamente entre os 280 segundos e 520 segundos, consequentemente o fluxo de saída é maior junto a estas saídas de evacuação e nesses intervalos, Figura 5.49 a Figura 5.52 em que é evacuado 86,31% do efetivo de piso, 2983 ocupantes. O fluxo médio de evacuação é de 0,328p/s com incêndio e de 0,309p/s sem incêndio, Quadro 5.31.

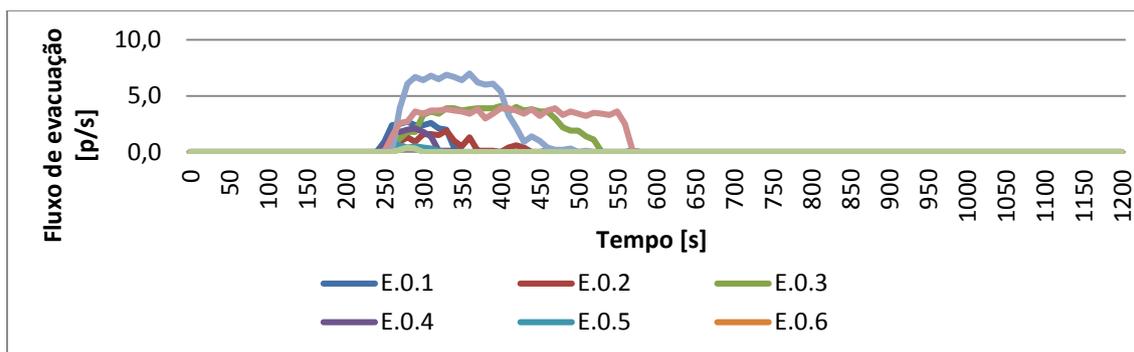


Figura 5.49 - Fluxo de evacuação por saída do piso 0 com incêndio na loja, cenário 3.

Quadro 5.31 - Fluxo de evacuação no piso 0 na loja, cenário 3.

Cenário 3, piso 0	Fluxo de evacuação [p/s]		
	Intervalo de fluxos	Fluxo de evacuação médio	Desvio padrão
Com incêndio	0,00-7,00	0,328	0,576
Sem incêndio	0,00-7,00	0,309	0,517

Conforme demonstra a Figura I.2 a evacuação dos ocupantes, com algumas exceções, durante a simulação é idêntica à definida no plano de emergência interno do FC. No entanto, identificaram-se algumas exceções como no compartimento 54 em que existem duas saídas mas apenas uma é identificada no plano de emergência como saída de emergência, no entanto, durante a simulação ambas foram utilizadas.

À semelhança do descrito no cenário 2, alguns agentes atravessam as lojas para atingimento da saída, não respeitando os caminhos de emergência definidos no PEI. A título de exemplo refere-se a evacuação das lojas 55 e 56 cujos ocupantes passam pela loja 54, da loja 53 que passa pela 52 e da 51 que passa pela 50.

As vias do meio do piso 0 não são consideradas porque não se consideraram as VHE que estão no meio. A evacuação junto às saídas E.0.2 e E.0.3 é limitada, na realidade, pela existência de um quiosque no meio, o que não foi previsto na simulação.

Da análise do plano de emergência do FC e dos caminhos adotados pelos ocupantes, Figura I.2 é perceptível, à semelhança do cenário 1, que saídas próximas obtêm fluxos de evacuação significativamente distintos. Consequentemente é atribuído aos agentes um período de espera quando próximo daquela existe outra saída sem tempo de espera, são exemplos as saídas E.0.1, E.0.2 e E.0.3, Figura 5.51. Importa, também referir que, por lapso não foi definida no piso 0 a saída de emergência das escadas no meio das lojas centrais, identificada na Figura I.2, como VVE 0.19.



Figura 5.50 - Imagem da simulação de evacuação com incêndio do piso 0 na loja aos 245,5 segundos, cenário 3. (Fonte: Pyrosim, 2014)

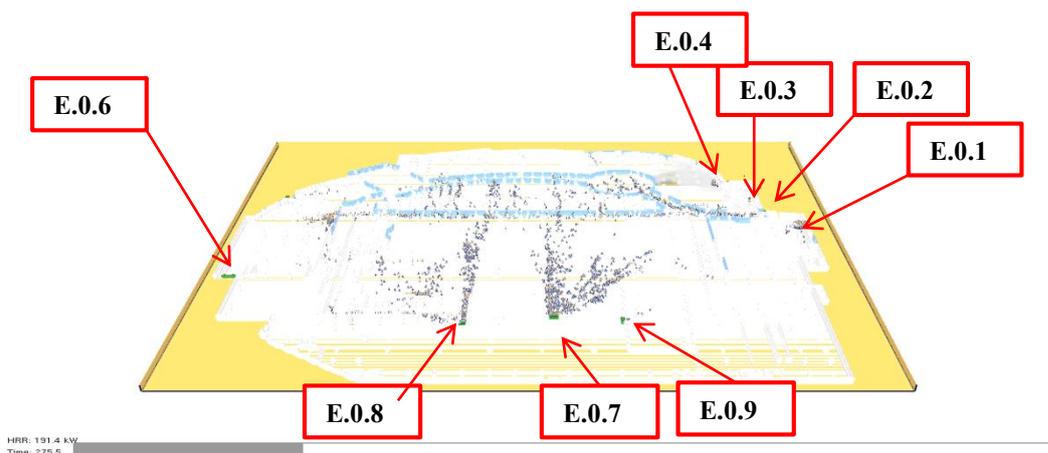


Figura 5.51 - Imagem da simulação de evacuação com incêndio do piso 0 na loja aos 275,5 segundos, cenário 3. (Fonte: Pyrosim, 2014)



Figura 5.52 - Imagem da simulação de evacuação com incêndio do piso 0 na loja aos 515,5 segundos, cenário 3. (Fonte: Pyrosim, 2014)

5.3.5. Evacuação do piso 0 com incêndio em hipermercado (cenário 4)

O tempo de movimento dos 3456 ocupantes do piso 0 no cenário de incêndio no hipermercado é de 396,56 segundos (6 minutos e 37 segundos) de acordo com a Figura 5.53. O incêndio é detetado aos 90,44 segundos pelo detetor mais próximo do foco de incêndio. A posição inicial dos ocupantes antes de iniciarem o movimento em direção à saída é representada na Figura 5.60. A diferença entre o tempo de pré-movimento e o tempo necessário para o primeiro ocupante atingir a saída (E.0.2) é de 1,80 segundos.

Com efeito e de acordo com a equação (4.7) o tempo necessário para a evacuação é de 925,28 segundos (15 minutos) com o fator de segurança de 50% do tempo de movimento incluído, equação (5.2). Metade da população é evacuada aproximadamente em 110 segundos, à semelhança do cenário 3.

O tempo disponível para a evacuação (ASET) é superior ao tempo necessário à evacuação total do piso 0 (RSET) com efeito pode afirmar-se que nas condições de simulação o edifício garante a evacuação segura dos ocupantes, com uma margem de 15 minutos e 35 segundos, equação (5.5).

$$T_{RSET} = 90,44 + 240s + (1,5 \cdot 396,56s) = 925,28 = 15m26s \quad (5.5)$$

As flutuações após o final do tempo de evacuação no cenário de sem incêndio são decorrentes do descrito posteriormente no capítulo 5.4.1, Quadro 5.36.

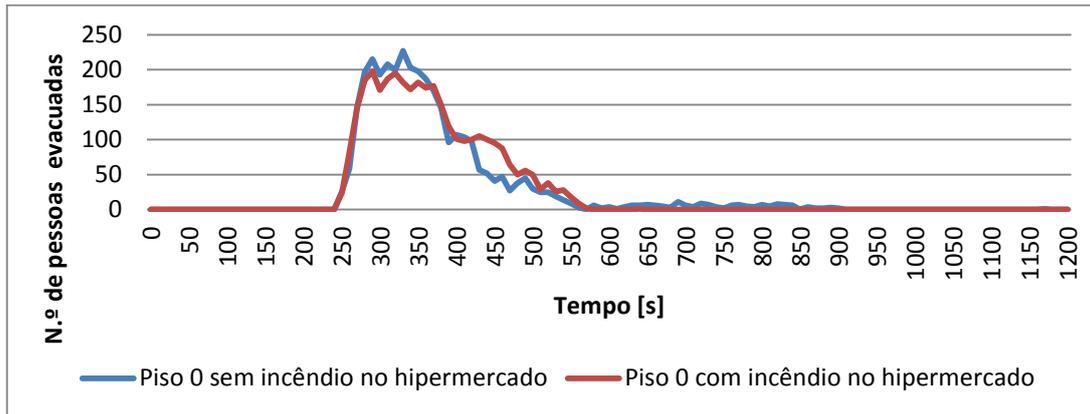


Figura 5.53 - Evolução do número de pessoas evacuadas no piso 0 com e sem incêndio no hipermercado, cenários 4.

Dos resultados dos diferentes tempos relativos à evacuação, Quadro 5.32, salienta-se a margem de segurança proposta para o cálculo do tempo de evacuação que representa 21,43% do tempo de evacuação do edifício. No piso 0 a diferença entre o tempo de evacuação com incêndio e sem incêndio é de 60,25 segundos (6,51%). Esta diferença deve-se, principalmente às diferenças no tempo necessário para a deteção de incêndio: no cenário sem incêndio foram estipulados 50 segundos e no cenário de incêndio foram necessários mais 40,44 segundos.

A propagação do incêndio durante a evacuação limita-se à área do hipermercado pelo que a redução da velocidade inerente à presença de gases tóxicos deveria de ser mais presente no cenário 4. A redução da velocidade inicial dos ocupantes durante a evacuação é de 0,998/s para a situação de incêndio e de 1,001/s para a situação de não incêndio, Figura 5.54 e Quadro 5.33 e a velocidade média de deslocamento dos ocupantes na situação de incêndio é maior, 1,249m/s, do que sem incêndio, 1,144m/s.

Quadro 5.32 - Diferentes momentos do tempo de evacuação no piso 0 com e sem incêndio em loja, cenário 3.

	Sem incêndio	Com incêndio	Variância
Tempo necessário para a deteção de incêndio [s]	50	90,44	40,44
Tempo de pré-movimento [s]	240	240	-
Tempo de saída do primeiro ocupante [s]	242,04	242,80	-0,24 (-0,10%)
Tempo de saída do último ocupante [s]	625,39	638,36	12,97 (2,03%)
Tempo de movimento [s]	383,35	396,56	13,21 (3,33%)
Tempo de evacuação sem fator de segurança [s]	673,35	727	53,65 (7,38%)
Tempo de evacuação com fator de segurança [s]	865,03	925,28	60,25 (6,51%)
Diferença entre ASET e RSET [s]	934,98	874,72	-60,25 (-6,89%)

Diferença entre o tempo de evacuação com fator de segurança e sem fator de segurança [s]	191,68	198,28	6,60 (3,33%)
---	--------	--------	-----------------

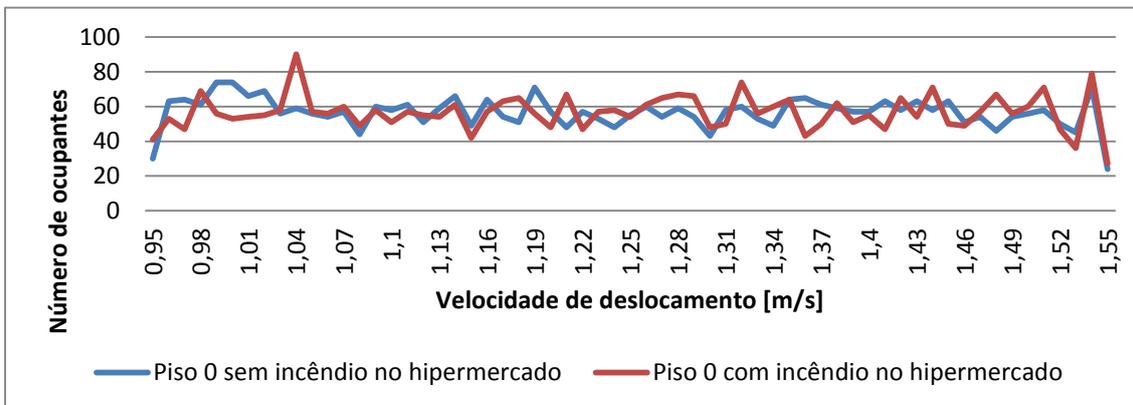


Figura 5.54 - Velocidade inicial dos ocupantes no piso 0 no hipermercado, cenário 4.

Quadro 5.33 - Velocidade inicial dos ocupantes e variação da velocidade na evacuação no piso 0 na loja, cenário 3.

Cenário 4, piso 0	Velocidade inicial [m/s]			Variação da velocidade [m/s]		
	Intervalo de velocidade	Velocidade inicial média	Desvio padrão	Intervalo de variação [m/s]	Variação média	Desvio padrão
Com incêndio	0,95-1,55	1,249	0,105	0,80-1,20	0,998	0,100
Sem incêndio	0,95-1,55	1,144	0,1015	0,95-1,55	1,001	0,102

De acordo com os resultados de dose efetiva fracionária, Figura 5.55, esta deixa de ser 0 aos 1110 segundos de simulação (0,000061) após o término da evacuação.

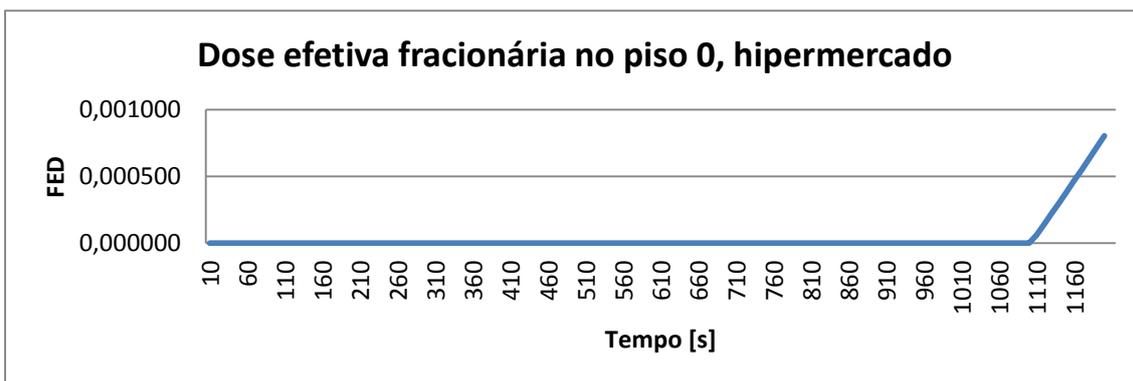


Figura 5.55 - Dose efetiva fracionária em situação de incêndio no piso 0 no hipermercado, cenário 3.

Durante a introdução de dados não foi introduzida uma *slice* de visibilidade junto ao foco de incêndio, tendo sido aplicadas as *slices* apresentadas na Figura 5.56. A redução da visibilidade nos caminhos de evacuação acontece, principalmente após 900s, na fase final da evacuação do edifício. No fim da evacuação a visibilidade é reduzida até 12,5m.

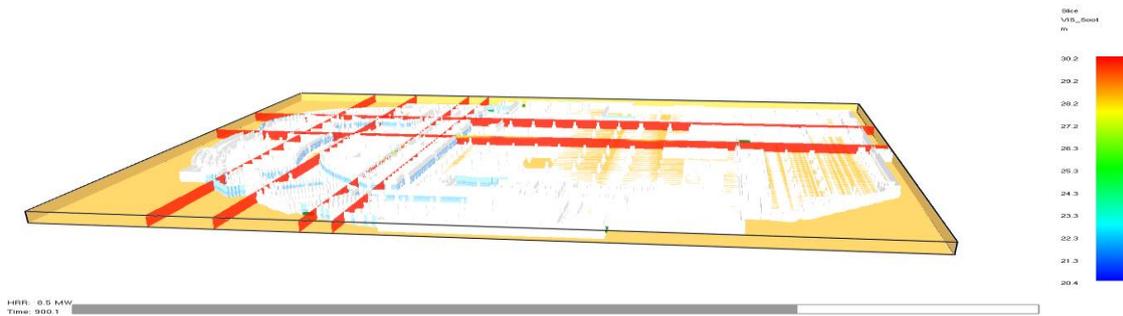


Figura 5.56 - Condições de visibilidade no piso 0 no hipermercado ao fim de 900,1 segundos, cenário 4. (Fonte: Pyrosim, 2014)

A temperatura máxima no compartimento de incêndio atingida aos 1200 segundos de simulação ($86,60^{\circ}\text{C}$) é inferior à temperatura máxima admissível para o ser humano. A área do compartimento de incêndio é superior aos cenários anteriores, com efeito, e apesar de a taxa de crescimento de incêndio ser superior, o aumento da temperatura no ambiente é limitada, Figura 5.57. No entanto, refira-se que os ocupantes para se dirigirem para as saídas E.0.7 e E.0.8 circulam no compartimento de incêndio e estão mais sujeitos às consequências do incêndio para o humano.

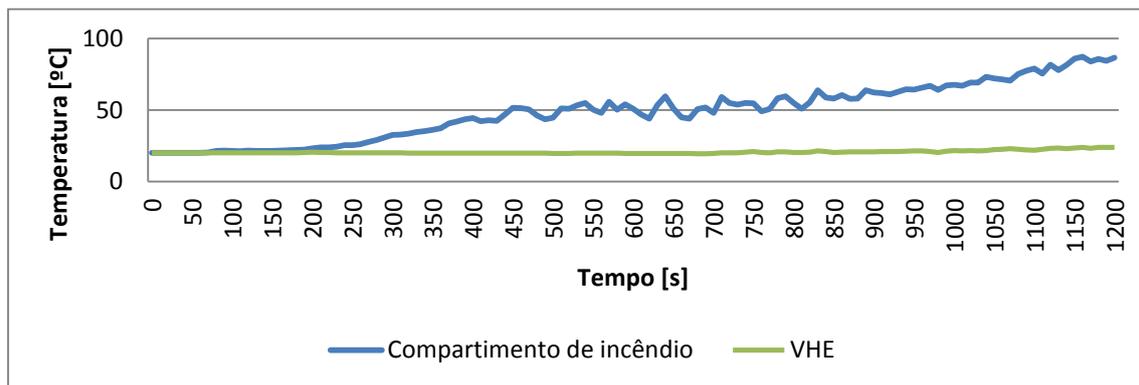


Figura 5.57 - Evolução da temperatura no ambiente no piso 0 no hipermercado, cenário 4.

O piso 0 tem 9 saídas de emergência, durante a evacuação nas situações de incêndio e sem incêndio todas as saídas foram utilizadas com exceção da saída E.0.6, como no cenário 3. As saídas com maior percentagem de utilização durante o cenário com incêndio foram as saídas E.0.7 com 24,6% a que corresponde 917 ocupantes e a E.0.8 com 25,0% a que corresponde 930 ocupantes, *cf.* Figura 5.58 e Quadro 5.34 e consequentemente estas saídas e a E.0.3 (com 22,2% de utilização) apresentam fluxos de saída maiores, Figura 5.59. A diferença na seleção das saídas de emergência varia no máximo 13,1%, na saída E.0.5, a que corresponde a evacuação de menos 488 ocupantes em situação de incêndio comparando com o não incêndio.

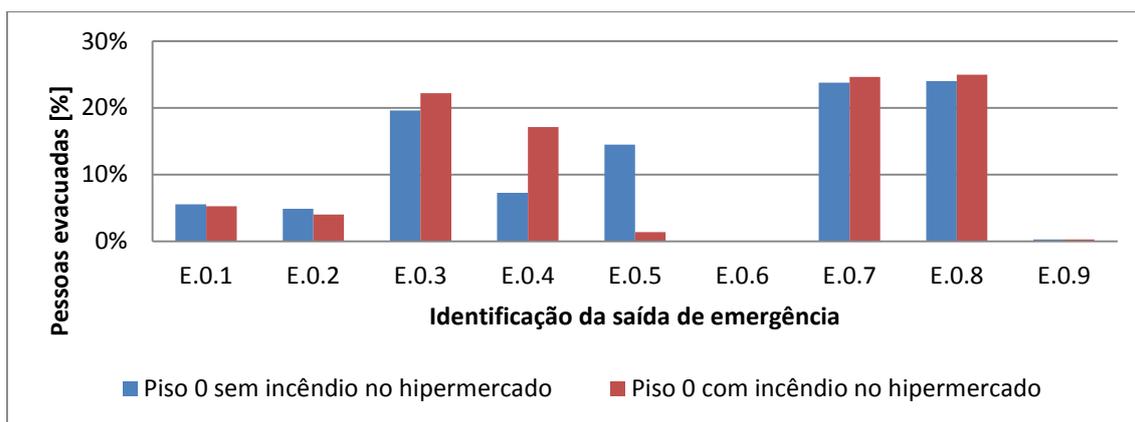


Figura 5.58 - Utilização das saídas do piso 0 com e sem incêndio no hipermercado, cenário 4.

Quadro 5.34 - Utilização das saídas de emergência do piso 0 com e sem incêndio no hipermercado, cenário 4.

		E.0.1	E.0.2	E.0.3	E.0.4	E.0.5	E.0.6	E.0.7	E.0.8	E.0.9
Cenário 4 com incêndio	%	5,3%	4,1%	22,2%	17,2%	1,4%	0,0%	24,6%	25,0%	0,3%
	p	196	151	826	639	53	0	917	930	12
Cenário 4 sem incêndio	%	5,6%	4,9%	19,6%	7,3%	14,5%	0,0%	23,8%	24,0%	0,3%
	p	207	182	731	271	541	0	886	895	11
Variância	%	-0,3%	-0,8%	2,6%	9,9%	-13,1%	0,0%	0,8%	0,9%	0,0%
	p	-11	-31	96	369	-488	0	31	35	1

As saídas utilizadas por maior número de ocupantes apresentam fluxos de saída superiores, a saída E.0.7 com o fluxo máximo de 7,4p/s, a E.0.3 com 4,10p/s e a E.0.8 com 3,80p/s e congestionamento, nomeadamente entre os 270 segundos e 500 segundos em que o fluxo de saída é maior junto a estas saídas de evacuação e nesses intervalos, Figura 5.49 a Figura 5.52 em que é evacuado 93,32% do efetivo de piso, 3225 ocupantes. O fluxo médio de evacuação é de 0,312p/s com incêndio e de 0,310p/s sem incêndio, Quadro 5.35.

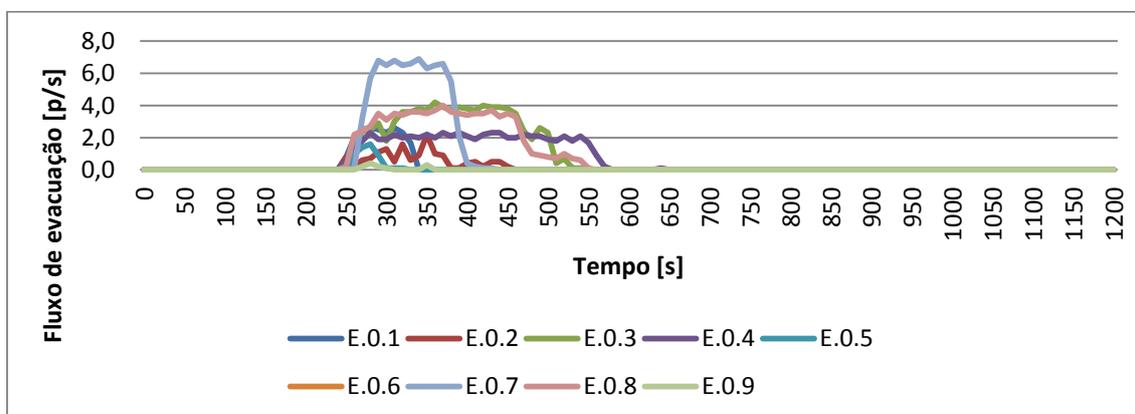


Figura 5.59 - Fluxo de evacuação por saída do piso 0 com incêndio no hipermercado, cenário 4.

Quadro 5.35 - Fluxo de evacuação no piso 0 no hipermercado, cenário 4.

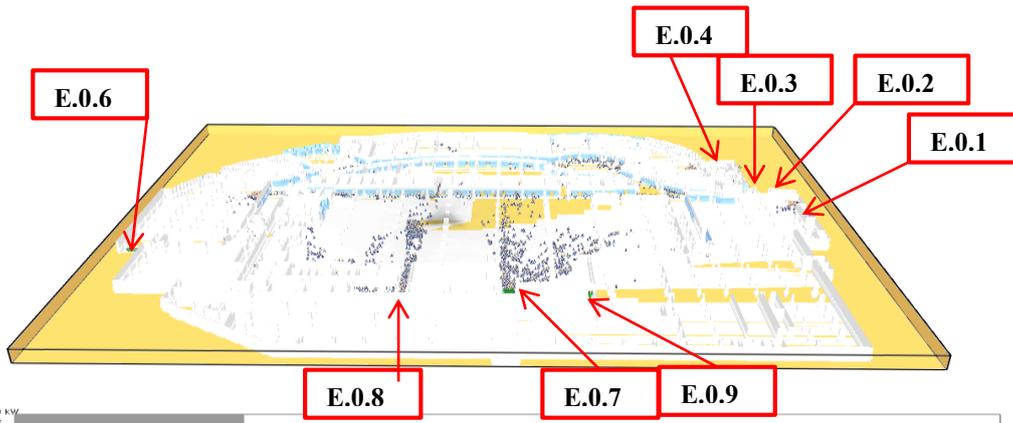
Cenário 4, piso 0	Fluxo de evacuação [p/s]		
	Intervalo de fluxos	Fluxo de evacuação médio	Desvio padrão
Com incêndio	0,00-6,90	0,312	0,543
Sem incêndio	0,00-7,40	0,310	0,512

Relativamente ao referido no cenário 3 não existe nenhum comentário adicional à Figura I.3 que representa o percurso adotado pelos ocupantes e o definido no PEI.



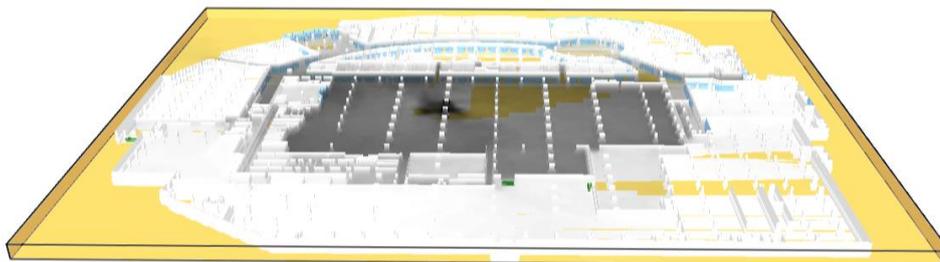
HRR: 150.5 kW
Time: 245.5

Figura 5.60 - Imagem da simulação de evacuação com incêndio do piso 0 no hipermercado aos 245,5 segundos, cenário 4. (Fonte: Pyrosim, 2014)



HRR: 771.9 kW
Time: 235.5

Figura 5.61 - Imagem da simulação de evacuação com incêndio do piso 0 no hipermercado aos 235,5 segundos, cenário 4. (Fonte: Pyrosim, 2014)



HRR: 0.3 MW
Time: 885.5

Figura 5.62 - Imagem da simulação de evacuação com incêndio do piso 0 no hipermercado aos 885,5 segundos, cenário 4. (Fonte: Pyrosim, 2014)

5.4. Propostas de melhoria para a modelação da evacuação do edifício

Na análise dos resultados obtidos conclui-se que a evacuação do FC é segura e cumpre os tempos mínimos de segurança requeridos. No entanto, na análise alguns fatores devem ser considerados nomeadamente em termos de simplificação do edifício e procedimentos de segurança e evacuação.

5.4.1. Simplificação do edifício

Para efeitos de simplificação de introdução de dados foram realizadas algumas simplificações ao nível da arquitetura do edifício e considerou-se que os ocupantes se encontram em segurança após o alcance da saída de emergência, quando, com exceção da saída de emergência que dá acesso o parque de estacionamento exterior, tal não se verifica. A Figura 5.6 identifica parte do caminho de evacuação exterior desde a área de restauração do piso 2 ao ponto de reunião e como se identifica na Figura 5.63 o caminho apresenta alguns obstáculos à movimentação de pessoas, escadas, diminuição da largura do caminho de evacuação, alteração da rigidez do piso que poderão constituir perigos à evacuação dos ocupantes.

Em futuros projetos e na análise da segurança ao incêndio poderá ser interessante a globalidade dos caminhos de evacuação, incluindo escadas.



Figura 5.63 - Perigos nos caminhos de evacuação do FC não considerados na simulação.

Ainda relativamente às simplificações do edifício, não foram incluídas as portas que da mesmas forma que dão acesso a compartimentos e vias de evacuação aos ocupantes previnem a propagação de fumo pelos caminhos de evacuação. O FDS+EVAC permite a definição de portas nos caminhos de evacuação assim como a sua abertura automática ao fim do tempo de simulação estipulado pelo utilizador, permitindo o estudo da influência dos dispositivos de obturação automática durante a evacuação.

Também não foram incluídos nos compartimentos mostruários da atividade comercial e limitações nos espaços da restauração o que poderia aumentar significativamente o tempo de evacuação, uma vez que, como no exemplo demonstrado na Figura 5.64, ocupam uma grande percentagem de cada compartimento da mesma maneira que poderia constituir uma fonte de propagação de incêndio.

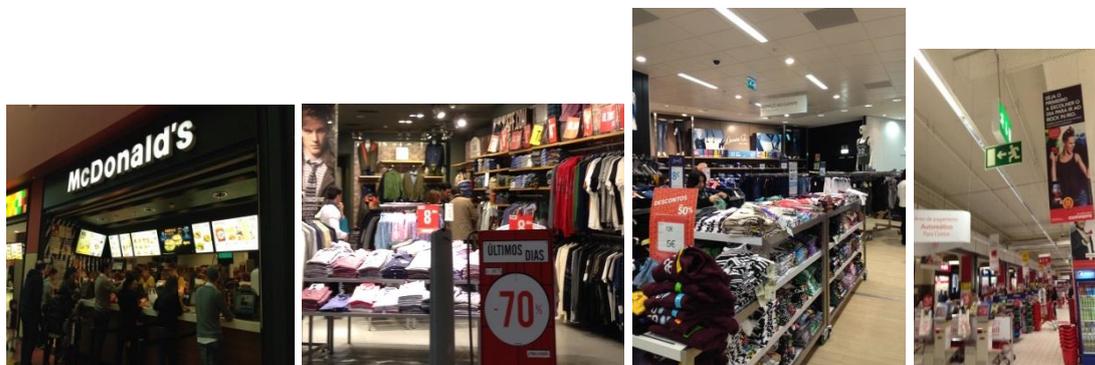


Figura 5.64 - Mostruários do FC não considerados na simulação de evacuação nos cenários 1 a 4.

Os dados relativos à geometria do edifício, como paredes, janelas e lajes foram introduzidas no FDS+EVAC, com recurso à janela de visualização Pyrosim, utilizando como base um ficheiro em .cad.

A transposição do ficheiro para .psm (pyrosim) utiliza como base todos os pontos e linhas do ficheiro .cad, consequentemente, as estruturas desenhadas no ficheiro .cad. com duas linhas (como paredes) são transpostas, automaticamente para .psm como duas linhas isoladas e cujo espaçamento entre elas é considerado vazio. A definição das posições iniciais dos ocupantes é aleatória, dentro de uma área definida pelo utilizador, essa aleatoriedade poderá induzir a que ocupantes sejam posicionados entre as linhas de parede e consequentemente não consigam atingir um caminho de evacuação útil. Este facto ocorreu durante todas as simulações, no máximo ficaram impedidos de circular 5,95% da população do piso 2, *cf.* Quadro 5.36. A variação de piso para piso, como do cenário 2 com incêndio para o cenário 4 com incêndio de 1,33% é inerente à variação da geometria e a variação dentro do próprio piso, como a do cenário 4 de 0,81% tem inerente a posição inicial dos ocupantes que é definida aleatoriamente, como descrito no capítulo 4.1.2.

Os agentes não evacuados durante a simulação foram ignorados para efeitos de cálculo, considerando-se que a sua evacuação decorreu no período normal de evacuação. Estes agentes não foram considerados mortos porque através da análise da evacuação pelo Smokeview é possível analisar o movimento destes agentes dentro dos objetos a que ficaram restringidos.

De forma a minimizar esta situação, em futuros trabalhos, proponho que antes da passagem para um ficheiro .psm se proceda à eliminação das linhas duplicadas no ficheiro .cad.

Quadro 5.36 - Número de pessoas impedidas de circulação pela geometria do edifício.

Cenário	Situação de incêndio	Número de pessoas do piso	Número de pessoas evacuadas	Número de pessoas não evacuadas	% de pessoas não evacuadas	Varição no piso
1	Sem incêndio	4906	4743	163	3,32%	0,77%
	Com incêndio		4781	125	2,55%	
2	Sem incêndio	2319	2184	135	5,82%	0,64%
	Com incêndio		2181	138	5,95%	
2.1			2196	123	5,31%	
3	Sem incêndio	3456	3368	88	2,55%	0,78%
	Com incêndio		3341	115	3,33%	
4	Sem incêndio	3456	3372	84	2,43%	0,81%
	Com incêndio		3400	56	1,62%	

A definição dos cenários de incêndio baseou-se noutros estudos, no entanto, a identificação das dimensões do queimador foi realizada com recurso a simulações de teste, tendo sido considerado o cenário passível de ser o mais próximo.

5.4.2. Procedimentos de segurança

Durante a evacuação não se consideraram os equipamentos de ventilação que favorecem a otimização das condições de sobrevivência nos caminhos de evacuação. Na análise do tempo disponível para a evacuação a inclusão destes equipamentos pode ser importante analisando se o ASET inerente aos elementos estruturais do edifício não é comprometido pelas condições ambientais para a evacuação.

A propagação do incêndio é limitada a um objeto com as características de evolução de incêndio definidas na revisão bibliográfica assumindo-se uma propagação de incêndio bastante limitada. Esta suposição tem inerente o fato de o edifício ter uma atividade intensa com responsáveis de segurança definidos e treinados e equipamentos de segurança adequadamente distribuídos pelo que o início de um incêndio, salvo em período noturno, pode ser rapidamente extinto. Esta suposição enquadra-se no âmbito do PEI definido pelo FC em que somente é dada a ordem de evacuação total do edifício se não for possível restringir o foco de incêndio a uma pequena área.

Em trabalhos posteriores poder-se-á incluir as orientações constantes no Caderno Técnico PROCIV 13 relativamente às circulações comuns que exigem a adoção de sistemas de controlo de fumos com uma altura livre de fumos de 4m, colocação de painéis de cantonamento nas frentes de loja e cumprimento das disposições relativas à reação ao fogo enquadrando-os nos cenários de incêndio da simulação.

5.4.3. Procedimentos de evacuação

A opção de se realizar a análise piso a piso, considerando-os isoladamente, advém, também, da forma como os procedimentos de evacuação do PEI do FC está organizado, adotando-se a evacuação parcial do edifício.

O estudo da evacuação tem inerente essencialmente o número de ocupantes do edifício, a largura efetiva das vias de evacuação e pontos de transição e velocidade de deslocamento dos ocupantes mas outros parâmetros inerentes ao comportamento humano devem ser adicionados. Neste estudo incluídos através do tempo de pré-movimento estipulado e do fator de segurança adicionado ao tempo de movimento dos ocupantes e ainda pelas reduções de velocidade de deslocamento inerentes ao fumo e visibilidade, calculadas pelo FDS+EVAC. No entanto, outros fatores passíveis de se incluírem no estudo poderiam ter sido adicionados, tais como o conhecimento dos caminhos de evacuação por parte dos ocupantes, grau de familiaridade entre estes, sexo, idade e facilidade de deslocamento dos ocupantes.

A definição de proporções e parâmetros de análise para os fatores acima definidos constitui um passo importante na análise do tempo de evacuação efetivo do edifício e deverão de ser estipulados em colaboração com os proprietários do edifício e perspectivas de negócio.

De forma a tornar semelhante o percurso de evacuação definido pelos agentes do FDS+EVAC aos caminhos de evacuação definidos no plano de emergência do FC, pode ser interessante, a definição de graus de conhecimento de saídas e portas de evacuação.

Não foi definida a orientação das portas considerando-as apenas como um vão aberto, consequentemente, esta característica também não é considerada pelos ocupantes do edifício.

Durante a análise dos dados foram identificados vários pontos de congestionamento com tempos de espera consideráveis. A identificação destes pontos é importante na medida em que, em futuros simulacros, se analise o fluxo de saída nesses pontos e se avalie a necessidade de identificação de caminhos alternativos a essas saídas de emergência. De salientar, contudo, que alguns resultados obtidos têm fortemente implícito o algoritmo de saída dos ocupantes do edifício, existindo saídas, colocadas lado a lado, com grandes variações de fluxo.

Não foi possível a obtenção de dados mais específicos sobre a visibilidade e a altura do fumo porque não foram solicitados aquando da definição dos outputs. Em futuras simulações de incêndio poderá ser interessante, também, a colocação de termoacumuladores, detetores de fumo de acordo com o dimensionamento previsto pelo RT-SCIE e outros dispositivos e *namelists* de caracterização das condições ambientais dos caminhos de evacuação.

Importa também realçar que no cálculo do tempo necessário para a evacuação somente não são incluídos os 8 minutos (tempo máximo previsto) que o FC prevê para a confirmação do alarme e que se ultrapassados é automaticamente iniciada a mensagem automática de evacuação. De facto, esta é uma temporização que acrescentaria em 8 minutos o tempo necessário à evacuação decorrente da estratégia de evacuação adotada pelo FC.

Na revisão da bibliografia é possível encontrar um vasto conjunto de estudos sobre a influência dos parâmetros largura, densidade e velocidade na evacuação. No entanto, no que se refere à introdução do comportamento humano em modelos de simulação com recurso a algoritmos de comportamento humano confiáveis, os estudos ainda são escassos, inerente à necessidade da validação experimental dos estudos.

Os estudos são importantes para que os critérios subjetivos da introdução de dados no programa sejam minimizados oferecendo abordagens objetivas e o mais possível realísticas, prevenindo a necessidade de se recorrer a fatores de segurança.

De acordo com o FC durante a evacuação do edifício os pontos mais críticos, também de acordo com o referenciado na revisão da bibliografia, estão diretamente relacionados com o comportamento humano nomeadamente:

- Ao nível da comunicação com os visitantes do FC (principalmente os estrangeiros);
- O nível de formação e informação dos ocupantes e conseqüentemente a sua resistência à evacuação;
- A utilização das escadas rolantes pelas pessoas apesar de não estarem identificadas como caminho de evacuação os ocupantes tendem a entrar por onde saíram;
- A persistência dos ocupantes em retirarem do parque de estacionamento as suas viaturas e,
- A utilização de uma mensagem de evacuação gravada continuamente.

5.5. Considerações finais

O capítulo 5 apresentou as características e exigências regulamentares do edifício comercial Fórum Coimbra, com especial enfoque nas características necessárias à sua evacuação. Posteriormente definiram-se quatro cenários distintos e com recurso ao programa de simulação FDS+EVAC calculou-se o tempo de evacuação por piso, com e sem fator de segurança incluído de forma a identificar o tempo de evacuação para o edifício e a distribuição dos ocupantes pelas saídas de evacuação. Os resultados demonstram que o pior cenário é o cenário 2.1, Quadro 5.37, pelo que se considerou aquele o tempo necessário para a evacuação de todo o edifício.

Quadro 5.37 - Tempo necessário à evacuação total, por cenário de incêndio.

Identificação do cenário	Descrição breve do cenário	Tempo necessário à evacuação total [s]	Tempo necessário à evacuação total [horas e minutos]
Cenário 1	Piso 2, restauração	941,33 segundos	16 minutos e 15 segundos
Cenário 2	Piso 1, loja de vestuário (SpringField)	1048,54 segundos	17 minutos e 29 segundos
Cenário 2.1	Piso 1, loja de vestuário com índices de conhecimento atribuídos à saída E.1.5 e E.1.7	1053,39 segundos	17 minutos e 33 segundos
Cenário 3	Piso 0, loja de vestuário (Primark).	767,44 segundos	12 minutos e 47 segundos
Cenário 4:	Piso 0, no hipermercado (Continente)	925,28 segundos	15 minutos e 26 segundos

Com base nos resultados obtidos conclui-se então que o tempo de evacuação do edifício é de 1053,39 segundos (17 minutos e 33 segundos) definido com base no tempo de evacuação do piso 1 (cenário 2.1) do edifício a que corresponde uma margem de segurança de 12 minutos e 26 segundos. Contudo ao acrescentar ao tempo de evacuação calculado os 8 minutos necessários à confirmação da evacuação obtém-se apenas uma margem de segurança de 4 minutos e 26 segundos.

Dos resultados obtidos conclui-se, ainda, que para os cenários definidos a influência dos produtos de combustão na visibilidade e velocidade dos ocupantes é diminuta.

O tempo de evacuação considerado apenas considera alcance dos pontos exteriores do edifício, não incluindo o tempo necessário para o deslocamento até aos pontos de reunião, contudo, e uma vez que inclui uma margem de segurança de 50% do tempo de movimento não se considerou necessário a inclusão de um fator de segurança adicional para inclusão do tempo necessário até o alcance do ponto de reunião.

O tempo de evacuação do edifício encontrado deverá ser o de base aos primeiros exercícios de treino e, com base nos resultados obtidos nesse exercício, definir um plano para a sua otimização. Os dados fornecidos pelo FC indicam que o tempo médio para a evacuação do edifício é de 25 a 35 minutos, cerca de 18 minutos superior ao tempo de evacuação calculado pelo programa de simulação. Contudo se ao tempo de cálculo da evacuação do programa de simulação se incluir os 8 minutos da matriz de emergência conclui-se que o tempo que decorreu desde a deteção da emergência à paragem da emissão da mensagem de evacuação no simulacro de 17 de Outubro de 2013 no FC (34 minutos) a diferença entre o tempo de treino e o tempo necessário à evacuação calculado com base no programa de simulação é de apenas 9 minutos.

Dos resultados obtidos e com base nos pressupostos do programa de simulação FDS+EVAC são significativas as diferenças nas utilizações das saídas de emergência, não só quanto às posições iniciais dos ocupantes (estudadas pela comparação do cenário de incêndio e do cenário de não incêndio) como quanto ao cenário de incêndio (estudadas por comparação dos resultados obtidos para o cenário 3 e cenário 4).

No que consta à atribuição de índices de conhecimento das saídas de evacuação, pelos resultados obtidos infere-se que poderá ser ou não significativo, em função dos parâmetros que se pretendem analisar. Se o objetivo do estudo é o cálculo do tempo global de evacuação do edifício poderá não ser significativo atribuir índices de conhecimento às saídas uma vez que, por comparação das equações (5.2) e (5.3) a diferença no tempo total de evacuação é de apenas 4,5 segundos. Contudo se o objetivo é estudar o movimento dos ocupantes nomeadamente em pontos de transição a atribuição dos índices de conhecimento assume importância, uma vez que, por comparação dos dados de fluxos de evacuação e utilização das saídas de evacuação (Figura 5.31, Figura 5.32, Figura 5.48 e Figura 5.49).

Face ao objetivo do estudo procedeu-se a algumas simplificações no edifício em estudo e na metodologia de evacuação, no entanto, poderá ser vantajoso, aquando do estudo da evacuação em metodologias com base no desempenho a inclusão de todos os fatores que interferem no incêndio e evacuação do edifício, incluindo todos os meios de deteção, ventilação, combate a incêndio e vias de evacuação passíveis de serem introduzidos.

6. CONCLUSÕES

A evacuação de pessoas em edifícios em situação de incêndio reveste-se de enorme importância: o estudo de metodologia que contribua por o aumento da rapidez e eficiência da evacuação é essencial. O planejamento da evacuação é, dentro do estudo da segurança ao incêndio urbano um tema central, quer na fase de projeto quer durante a utilização do edifício.

Um edifício deverá cumprir os requisitos mínimos de desempenho ao incêndio e, dentre estes está a segurança à vida dos ocupantes e a preservação dos seus bens materiais. Para espaços com efetivos superiores e/ou com efetivo com características especiais as exigências regulamentares são maiores, porque o risco também é aumentado, dentre estes estão os espaços comerciais, salas de espetáculo, estádios e outros como hospitais e lares de idosos e crianças. A evacuação em edifícios comerciais com elevado efetivo foi o objeto de estudo do projeto, analisando-se a interferência de diversos fatores na evacuação de três tipologias de espaços comerciais: restauração, venda de vestuário a retalho e hipermercado.

Do levantamento do estado da arte constatou-se que o comportamento humano é, principalmente, influenciado pelas condições de localização e propagação do incêndio, pela forma de transmissão das informações sobre o incêndio aos ocupantes e as características físicas e socioculturais dos ocupantes e dos edifícios e que a imprevisibilidade do comportamento humano em condições de emergência é afetada por inúmeros fatores, difíceis de mensurar mas que deverão ser considerados durante o planejamento da evacuação.

O tempo de evacuação é função da densidade de pessoas, velocidade de deslocamento e do fluxo de pessoas e é representado pelo somatório de várias parcelas de tempo da evacuação, desde o tempo de alarme, o tempo de pré-movimento e o tempo necessário para os ocupantes atingirem um lugar seguro, todas as parcelas influenciadas pelo comportamento humano e pelas características físicas do edifício.

A determinação do tempo de evacuação pode ser realizada com recurso a métodos numéricos simplificados ou a modelos computacionais desenvolvidos por diversos grupos científicos de referência na área da segurança ao incêndio.

Durante o projeto foram realizadas duas simulações com e sem incêndio em quatro cenários distintos, concluindo-se que o tempo de evacuação do edifício é de 1053,39 segundos (17 minutos e 33 segundos).

O tempo de movimento, de acordo com os princípios gerais de evacuação, incluídos no programa de simulação utilizado, FDS+EVAC, é influenciado pela presença de fumo nas circulações horizontais e verticais por onde caminham os ocupantes, contudo essa influência não foi implícita nos resultados observados provavelmente porque os compartimentos de incêndio eram de grandes dimensões e conseqüentemente a quantidade de fumo por unidade de área não seria suficiente para influenciar o tempo de evacuação. Por conseguinte, a influência do fumo na visibilidade dos ocupantes não foi considerada durante as simulações. Assim, deduz-se que face a um incêndio real no edifício, as condições de visibilidade, nomeadamente nas vias de evacuação, são as adequadas.

Pelos resultados obtidos das simulações numéricas e pela sua comparação com o tempo regulamentar disponível para a evacuação concluiu-se que, face a uma situação real de incêndio, o Fórum Coimbra garante as condições necessárias para a evacuação segura dos ocupantes, com uma margem, na situação mais desfavorável de 12 minutos e 26 segundos.

No que se refere à otimização dos tempos de evacuação, é aconselhado o desenvolvimento de um plano de ações para que o tempo de evacuação dos exercícios de treino (entre 25 e 30 minutos) se aproxime do tempo calculado pela simulação através de ações de formação e sensibilização dos colaboradores e do público do edifício.

As exigências regulamentares apelam à realização de exercícios de treino de incêndio e evacuação. A possibilidade de associar a estes exercícios o estudo da evacuação medindo tempos de evacuação e dificuldades durante a evacuação, identificando oportunidades de melhoria para o planeamento da emergência é essencial ao aperfeiçoamento da gestão da evacuação de edifícios com público.

A garantia das condições de segurança dos ocupantes no edifício, em situação de emergência, é um fundamental e a validação da relação entre o tempo disponível para a evacuação e o tempo necessário para a evacuação é o método mais eficaz para a verificação dessas condições.

6.1. Desenvolvimento de trabalhos futuros

A dissertação demonstrou a importância da realização de exercícios de treino e a sua comparação com simulações computacionais. Estas devem considerar os mesmos cenários dos exercícios de treino, incluindo desde os componentes do edifício com características de reação ao fogo relevantes para a diminuição das condições de sobrevivência no ambiente, o perfil previsível dos ocupantes e seu comportamento, assim como, os meios de deteção, desenfumagem e extinção de incêndio existentes no edifício.

A regulamentação portuguesa obriga à formação das equipas de segurança dos edifícios e à realização de exercícios de treino, em função da sua utilização e categoria de risco. No Fórum Coimbra são realizados, periodicamente, exercícios de treino, em futuros trabalhos seria interessante desenvolver um planeamento pormenorizado de um exercício de treino que envolvesse o público do Fórum Coimbra, a fim de proceder à medição dos tempos de pré-movimento e de evacuação do edifício e, após o exercício, se avaliasse as características e comportamento dos ocupantes, através da aplicação de questionários previamente desenvolvidos. Através dos dados obtidos na simulação real, na simulação computacional e do tratamento dos questionários, seria possível estudar o desempenho dos caminhos de evacuação e do comportamento do efetivo do edifício e, definir e validar tempos de evacuação aceitáveis.

O FC é um edifício comercial de dimensão significativa, contudo existem edifícios com outras utilizações que recebem público com características bastante distintas dos comerciais, como hotéis e espaços de diversão. No desenvolvimento de futuros projetos poderá ser interessante a aplicação deste estudo a edifícios, que não espaços comerciais.

Para a realização do trabalho foi apenas utilizado o FDS+EVAC, pelo que num próximo estudo a utilização de, pelo menos, mais um software pode ser importante, pois permite criar uma maior base de dados de análise e perceber se as modelações se encontram com erros.

Quanto às limitações apresentadas no capítulo 4.3 referentes ao programa de simulação FDS+EVAC, acresce o facto de que, para edifícios de maior dimensão, a sua capacidade de resposta é limitada. Apesar da definição de malhas grosseiras e da não ativação de qualquer sistema de desenfumagem ou extinção, os tempos de simulação são muito grandes. Esta é, de facto, uma lacuna do programa de simulação utilizado que seria interessante colmatar em projetos futuros, para que o programa pudesse ser utilizado sem limitações.

A regulamentação portuguesa no âmbito da segurança ao incêndio, tem sido reformulada ao longo dos últimos anos. Todavia, apesar de definir requisitos rigorosos para a evacuação, continua a carecer de uma metodologia de avaliação da eficácia da evacuação em edifícios. O desenvolvimento de uma proposta para a avaliação do desempenho do processo de evacuação em edifícios que recebem público, com exigências distintas em função da utilização e categoria de risco, constitui, também, uma proposta para o desenvolvimento de projetos futuros.

(Esta página foi propositadamente deixada em branco)

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Autoridade Nacional de Proteção Civil (2010). “Cadernos Técnicos Prociv: Grandes Superfícies Comerciais – Manual de Projeto de Segurança Contra Incêndio”.
- Bennetts, I.D. (1981). Report n.º MRL/PS23/81/001, BHP Melbourne Research Laboratories, Clayton, Australia.
- Benthorn, L. e Frantzich, H. (1998). “Fire Alarm in a Public Building: How Do People Evaluate Information and Choose Evacuation Exit?” in Human Behaviour in Fire (J. Shields, ed.), Fire Safety Engineering Research and Technology Centre, Universidade de Ulster, Belfast, Irlanda.
- Boyce, K.E., Shields, T.J. e Silcock, G.W.H. (1999). “Toward the Characterization of Building Occupancies for Fire Safety Engineering: Capability of People with Disabilities to Read and Locate Exit Signs,” Fire Technology, n.º1.
- Breaux, J., Canter, D. e Sime, J. (1976). “Psychological Aspects of Behavior of People in Fire Situations”, Universidade de Surrey, Guilford, Reino Unido.
- Brennan, P. (1997). “Timing Human Response in Real Fires,” Proceedings of the Fifth International Symposium on Fire Safety Science, Melbourne, Australia.
- Brennan, P. (1998): “Victims and Survivors in Fatal Residential Building Fires,” Proceedings of the First International Symposium on Human Behaviour in Fire, Belfast, Reino Unido.
- British Standards Institution (2004) PD 7974-6. “The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings. Human factors. Life safety strategies. Occupant evacuation, behaviour and condition”. Londres.
- Bryan, J.L. (1957). “A Study of the Survivors’ Report on the Panic in the Fire at Arundel Park Hall, Brooklyn, Maryland, on January 29, 1956”, Universidade de Maryland, College Park.
- Bryan, J.L. (1977). “Smoke As a Determinant of Human Behavior in Fire Situations (Project People),” NBS-GCR-77-94, U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, Washington.
- Bryan, J.L. (1983). “An Examination and Analysis of the Dynamics of the Human Behavior in the MGM Grand Hotel Fire”, National Fire Protection Association, Quincy, MA.

- Bryan, J.L. (2002) A Selected Historical Review of Human Behavior in Fire.). In SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd ed., NFPA, Quincy, MA.
- Bryan, J.L., DiNenno, P.J. e Milke J.A. (1979). NBS-GCR-80-297, National Bureau of Standards, Gaithersburg, MD
- Bryan, J.L., Milke, J.A. e DiNenno, P.J. (1979). NBS-GCR-80200, National Bureau of Standards, Gaithersburg, MD.
- BS 5588-8:1999. (1999) Fire Precautions in the Design, Construction and Use of Buildings –Part 8: Code of practice for means of escape for disabled people. British Standards Institute.
- BS 7974-6:2004. “The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings Human factors. Life safety strategies. Occupant evacuation, behaviour and condition (Sub-system 6)”, BSI, Londres.
- Buettner, K. (1951). “Effects of Extreme Heat and Cold on Human Skin, II. Surface Temperature, Pain and Heat Conductivity in Experiments with Radiant Heat”, J. Ap. Phys.
- Bukowski, R. (2005). “Protected Elevators For Egress and Access During Fires in Tall Buildings. Workshop on Building Occupant Movement During Fire Emergencies”. Proceedings of the International Conference on Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods.
- Bukowski, R. (2008). Emergency egress from buildings. Part 1: History and current regulations for egress systems design. Proceedings of the 7th International Conference on Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods.
- Bukowski, R. W. e Kuligowski, E. (2004). “The basis for egress provisions in U.S. building codes”.
- Campbell, D. (1985). “Respiratory Tract Trauma in Burned Patients”, Colóquio, Borehamwood, Reino Unido.
- Candy, M.Y., Chow, W.K. (2008). “Waiting time in emergency evacuation of crowded public transports terminals”. Safety Science n.º46.
- Canter, D. (1980). “Fires and Human Behaviour”. Nova Iorque: Reedição de John Wiley e Sons (1980).

- Canter, D., Breaux, J. e Sime, J. (1978). “Human Behavior in Fires”, Universidade de Surrey, Guilford, Inglaterra.
- Castro, C. e Abrantes, J. (2009). “Manual de Segurança Contra Incêndios em Edifícios”. Escola Nacional de Bombeiros, 2ª edição, Lisboa.
- Chow, C.L. (2009). “Fire Safety Aspects of Refuge Floors in Supertall Buildings with Computational Fluid Dynamics”. *Journal of Civil Engineering and Management*.
- Coelho, A.L. (2010). “Incêndios em Edifícios”. Orion Editora, Lisboa.
- Decreto-Lei 74/2007, de 27 de Março - Direitos de acesso das pessoas com deficiência acompanhadas de cães de assistência a locais, transportes e estabelecimentos de acesso público (Portugal).
- Decreto-Lei n.º 163/2006 de 8 de Agosto – Condições de acessibilidade a satisfazer no projeto e construção de espaços públicos, equipamentos coletivos e edifícios públicos e habitacionais (Portugal).
- Decreto-Lei n.º 220/2008, de 12 de Novembro – Regulamento Jurídico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios (Portugal).
- Design and Construction of Building Exits, National Bureau of Standards (1935). Washington, DC.
- Dwyer, J. e Flynn, K. (2005). “102 MINUTES: The Untold Story of the Fight to Survive Inside the Twin Towers”. Times Books, EUA.
- Elneil, H. (1968). “A Companion To Medical Studies”, Blackwell, Oxford, Reino Unido.
- Fahy, R. F. e Proulx, G. (1955). “Collective Common Sense: A Study of Human Behavior during the World Trade Centre Evacuation”. *NFPA Journal*.
- Fang, Z., Lob, S. e Luc, J. (2003). “On the relationship between crowd density and movement velocity”. *Fire Safety Journal* n.º 38.
- Frantzich, H. e Nilsson, D (2004). “Evacuation Experiments in a Smoke Filled Tunnel”. In: *Human Behaviour in Fire - Proceedings of the Third International Symposium*, Belfast, UK.
- Fruin, J.J. (1971). “Pedestrian Planning Design, Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners”, Inc., Nova Iorque.

- Fruin, J.J. (1985). "Crowd Dynamics and the Design and Management of Public Places", Conference, Los Angeles.
- Fruin, J.J. (1987). "Pedestrian Planning and Design (revised edition)". Mobile: Elevator World.
- Furukawa, Y., Tsuchiya, S., Inahara, S. e Hasemi, Y. (2007). "Reproducibility of Group Evacuation Behaviour of the Elderly by Subjects Weating Elderly Simulator", Universidade de Waseda-Tóquio, Japão.
- Galea, E.R. e Galparsoro, J.M.P (1994). "EXODUS: An Evacuation Model for Mass Transport Vehicles," Fire Safety Journal, n.º 22.
- Groner, E. (2005). "Integrating Physical Systems and Human Behavior Using Codes and Standards Requirements for Building Evacuation". National Institute of Standarts and Technology, Nova Iorque, EUA.
- Groner, N. (2002). A compelling case for emergency elevator systems. Fire Engineering.
- Groner, N.E. e Levin, B.M. (1992). "Human Factors Considerations in the Potential for Using Elevators in Building Emergency Evacuation Plans," NIST-GCR-92-615, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD.
- Guo, X., Chen, J., You, S. e Wei, J. (2013). "Modeling of pedestrian evacuation under fire emergency based on an extended heterogenous lattice gas model", Physica A, n.º 393.
- Gwynne, S. M. V. (2009) "The Standardization of human egress data". In: International Symposium on Human Behaviour in Fire, 4, Cambridge. Proceedings London: Interscience Communications.
- Hankin, B.D. e Wright, R.A. (1959). Oper. Res. Quart. In: SFPE Handkbook of Fire Protection Engineering, 3rd edition. Quincy: National Fire Protection Association (2002).
- Hartzell, G.E., Switzer, W.G. e Priest, D.N. (1985). "Modeling of Toxicological Effects of Fire Gases," Fire Safety Journal, n.º 3.
- Heskestad, A.W. e Pederson, K.S (1998). "Escape Through Smoke: Assessment of Human Behavior and Performance of Wayguidance Systems," Human Behavior in Fire Proceedings of the First International Symposium, Fire SERT Center, Universidade de Ulster.

-
- Hietaniemi, J. e Mikkola, E. (2010). "VTT Working Papers 139: "Design Fires for Fire Safety Engineering". Technical Research Centre of Finland.
- Horasan, M., Kilmartin, R. (2012). "Analysis of Egress Calculation Assumptions and Findings for Large Shopping Centre Life Safety Assessments". In: Human Behaviour in Fire, Proceedings of the 5th International Symposium, Cambridge, Inglaterra.
- Jin, T. (1997). "Studies on Human Behavior and Tenability in Fire Smoke". Fire Safety Science, n.º 5, Melbourne.
- Jin, T. (2002). "Visibility and Human Behavior in Fire Smoke ". In SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd ed., NFPA, Quincy, MA.
- Joo, J., Kim, N., Wysk, R. A., Rothrock, L., Son, Y.J., Oh, Y.G. e Lee, S. (2013). "Agent based simulation of affordance-based human behaviours in emergency evacuation". Simulating Modelling Practice and Theory n.º32.
- Juillet, E. (1993). "Evacuating People with Disabilities," Fire Engineering, n.º 12.
- Kady, R. A., Gwynne, S. e Davis, J. (2009) "A review of the sources of occupant performance data used in building evacuation models". In: International Symposium on Human Behaviour in Fire, 4, Cambridge. Proceedings London: Interscience Communications.
- Kahn, M.J. (1983). "Detection Times to Fire-Related Stimuli by Sleeping Subjects," NBS-GCR-83-435, National Bureau of Standards, Washington, DC.
- Karlsson, B. e Quintiere, J. (2000). "Enclosure fire dynamics". CRC Press LLC.
- Keating, P. J. e Loftus, F. E. (1984). "Post Fire Interviews: Development and Field Validation of the Behavioral Sequence Interview Technique," NBS-GCR 84-477, National Bureau of Standards, Washington, DC.
- Kimura, M. e Sime, J.D. (1989): "Exit Choice Behavior During the Evacuation of Two Lecture Theatres," Fire Safety Science - Proceedings of the Second International Symposium, Hemisphere Publishing Corp., Washington, DC.
- Klote, J.H. (2003). "An Overview of Elevator Use for Emergency Evacuation". In: Conference on Tall Buildings. Proceedings. Task Group on Tall Buildings: Publication n.º 290.

- Kobes, M., Helsloot, I., Vries, B. e Post, J.G. (2010). "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* n.º3.
- Korhonen, T. e Hostikka, S. (2009). "Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS+Evac, Technical Reference and User's Guide", VTT Technical Research Centre of Finland.
- Kuligowski, E. (2003). "Elevators for Occupant Evacuation and Fire Department Access". *Proceedings of the CIB-CTBUH International Conference on Tall Buildings, Malaysia*.
- Kuligowski, E. D. (2003). "The evaluation of a performance-based design process for a hotel building: The comparison of two egress models". *Dissertação de mestrado*. Universidade de Maryland, College Park.
- Latane, B. e Darley, J.M. (1968). "Group Inhibition of Bystander Intervention in Emergencies," *Journal of Personality Psychology*.
- Lei, W., Li, A., Gao, R. e Xang, X. (2012). "Influences of exit and stair conditions on human evacuation in dormitory". *Physica A* n.º 391.
- Li-li, H., Guo-ying, Z., Guo-wei, Z. e Yin, F. (2013). "Research the Occupants Safe Egress of Underground Pedestrian Street Based on the Analysis of Fire Smoke Movement". *Procedia Engineering* n.º52.
- Lovreglio, R., Borri, D., Ollio D. e Ibeas, A. (2014). "A discrete choice model based on random utilities for exit choice in emergency evacuations". *Safety Science Journal*, n.º62.
- MacLennan, H., Ormerod, M., Sivan, A. e Nielsen, C. (2008). Will current high rise evacuation systems meet user needs in 2030? *Elevcon 2008, Thessaloniki*.
- MacLennan, H.A. (1986). "Towards an Integrated Egress/Evacuation Model Using an Open System Approach, Fire Safety Science," in *Proceedings of the First International Symposium*, Hemisphere Publishing Corporation, Washington, DC.
- Mcgrattan, K.; Mcdermott, R.; Weinschenk, C. e Overholt, K. (2013). "Fire Dynamics Simulator (Version 6) User's Guide" (NIST Special Publication 1019-6). Gaithersburg.

-
- National Fire Protection (2007). “Emergency evacuation planning guide for people with disabilities”, EUA.
- National Fire Protection Association (2012). “NFPA 101: Life Safety Code”. National Fire Protection Association, EUA.
- National Institute of Standards and Technology (2005). Federal Building and Fire Safety Investigation of the World Trade Center Disaster: Final Report of the National Construction Safety Team on the Collapses of the World Trade Center Tower, EUA.
- Nelson, H. E. e Mowewe, F.W. (2002) “Emergency Movement”. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd edition. Quincy: National Fire Protection Association, 2002.
- NFPA 101. 2000. Life Safety Code: Code for Safety to Life from Fire in Buildings and Structures (2000 Edition). NFPA, Quincy.
- NP EN 1991-1-2 (2010). Eurocódigo 1 – Ações em estruturas. Parte 1-2: Ações gerais – ações em estruturas expostas ao fogo, Portugal.
- Okada, N., Hasemi, Y., Moriyama, S., Hirakawa, K., Takemori, K. Hebiishi, T. e Lu, Y. (2009). “Feasibility of Upward Evacuation by Escalator – An Experimental Study”. In: Conference Proceedings for 4th International Symposium on Human Behaviour in Fire. Interscience Communications, Londres.
- Oldfield, P.F. (2005). “Bridging the Gap: Proposed Evacuation Links at Height in the World Trade Center Design Entries”. In: Council on Tall Buildings and Urban Habitat World Congress. 7.
- Olley, J. e Freed, S. (2008). Evacuation of buildings in emergencies – Use of lifts in case of fire and other incidents. European Lift Congress, Heilbronn.
- Ono, R. (2010). “O Impacto do Método de Dimensionamento das Saídas de Emergência sobre o Projeto Arquitetónico de Edifícios Altos: uma Análise Crítica e Proposta de Aprimoramento”. Dissertação de Doutoramento. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo.
- Ono, R. e Valentin, M.V. (2009). “A study on evacuation of school buildings for elementary education”. In: International Symposium on Human Behaviour in Fire, 4, Cambridge. Proceedings London: Interscience Communications..

- Ouellette, M.J. e Rea, M.S. (1989). “Illuminance Requirements for Emergency Lighting”. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, n.º. 1, Ottawa: National Research Council Canada.
- Owen, M., Galea, E.R. e Lawrence P.J. (1996). “The Exodus Evacuation Model Applied to Building Evacuation Scenarios,” *Journal of Fire Protection Engineering*.
- Ozel, F. (2001). “Time pressure and stress as a factor during emergency egress”. *Safety Science* n.º38.
- Palechano, N. e Badler, N. (2008). “Virtual crowds: methods, simulation and control”. Morgan & Claypool Publishers series, California.
- Pauls, J. (2005). “Linking Means of Egress Systems and Emergency Response Strategies”. In: Council on Tall Buildings and Urban Habitat World Congress. 7.
- Pauls, J. (2008). “Performance of means of egress: Conducting the research needed to establish realistic expectations”. *Proceedings of the 7th International Conference on Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods*, Auckland.
- Pauls, J. L.; Jones, B.K. (1980). “Building Evacuation: Research Methods and Case Studies”. In: *Fires and Human Behaviour*, Nova Iorque.
- Pauls, J., Ferguson, A., Juillet, E., Kose, S., Siikonen, M., Menzies, B. e Wood, A. (2007). “Implementing the paradigm shift to use of elevators/lifts for occupant evacuation in building fires”. Londres.
- Pauls, J., Gatfield, A. J. e Juillet, E. (1991). “Elevator use for egress: The human factors problems and prospects”. *Symposium on Elevators and Fire*, Baltimore.
- Pauls, J., Johnson, D. e Juillet, E. (2007). “Ergonomic considerations in the use of elevators for occupant evacuation of buildings”. *Proceedings of the 16th World Congress of the International Ergonomics Association (IEA)*. Elsevier Science, Nova Iorque.
- Pauls, J.L. (1978) “Management and movement of building occupants in emergencies”. Ottawa: National Research Council Canada.
- Pauls, J.L. (1982). “The Movement of People in Buildings and Design Solutions for Means of Egress”. *Fire Technology*, n.º1.

- Pauls, J.L. (1986). “Calculating Evacuation Time for Tall Buildings” in SFPE Symposium: Quantitative Methods for Life Safety Analysis, Society of Fire Protection Engineers, Boston.
- Peizhong, Y., Li, C. e Chen, D. (2003). “Fire emergency evacuation simulation based on integrated fire–evacuation model with discrete design method”. *Advances in Engineering Software* n.º 65.
- Plano de Emergência Interno do Fórum Coimbra, Outubro de 2009, versão 1, Certitecna – Engenheiros Consultores SA.
- Plano de Segurança Interno do Fórum Coimbra, 31 de Outubro de 2012, versão 3, Certitecna – Engenheiros Consultores SA.
- Portaria n.º 1532/2008, de 29 de Dezembro – Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios, Portugal.
- Predtechenskii, V.M. e Milinskii, A.I. (1978). “Planning for Foot Traffic in Buildings (translated from the Russian)”, Strozdat Publishers, Moscow (1969). English translation published for the National Bureau of Standards and the National Science Foundation, Amerind Publishing Co., Nova Deli, India.
- Proulx, G. (1998). “The Impact of Voice Communication Messages during a Residential Highrise Fire,” in *Human Behaviour in Fire* (J. Shields, ed.), Fire Safety Engineering Research and Technology Centre, Universidade de Ulster, Belfast.
- Proulx, G. (2002). “Movement of People: Evacuation Timing”. In: SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd edition. Quincy: National Fire Protection Association.
- Proulx, G. (2004). *Evacuation by Elevators – who goes first? Workshop on the use of elevators in fires and other emergencies*, Atlanta, ASME.
- Proulx, G. e Sime. J.D. (1991). “To Prevent Panic in an Underground Emergency: Why Not Tell People the Truth?” *Fire Safety Science - Proceedings of the Third International Symposium*, Elsevier Applied Science, Nova Iorque.
- Proulx, G., Reid, I. e Cavan, N. (2004). *Human behaviour study – Cook County Administration Building Fire. Research Report No.181. National Research Council of Canada, Ottawa.*

Proulx, G., Reid, I.M.A. e Cavan, N.R. (2004). "Human Behavior Study: Cook County Administration Building Fire". Ottawa: National Research Council Canada.

Proulx., G. (2002). "Movement of People: The Evacuation Timing ". In SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd ed., NFPA, Quincy, MA.

Purser, D. A. (2002) "Toxicity Assessment of Combustion Products". In SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd ed., NFPA, Quincy, MA.

Purser, D.A. (2000). "Recent Developments in the Use of a Tube Furnace Method for Evaluating Toxic Product Yields under a Range of Fire Conditions," Fire Protection Research Association 2000 Fire Risk and Hazard Research Application Symposium, Atlantic City.

Purser, D.A. (2003). "ASET and RSET: addressing some issues in relation to occupant behaviour and tenability". Fire Safety Science n.º 7.

Quanrantelli, E.L. (1979). Panic Behavior in Fire Situations: Findings and a Model from the English Language Research Literature, Ohio State University, Columbia.

Ramachandran, G. (1990). "Human Behavior in Fires – A Review of Research in the United Kingdom," Fire Technology, n.º26.

REVISTA FC

Ronchi, E., Colonna, P. e Berloco, P. (2013). "Reviewing Italian Fire Safety Codes for the analysis of road tunnel evacuations: Advantages and limitations of using evacuation models". Safety Science n.º52.

Schultz, D.P. (1968). Contract Report NR 170-274, Universidade do Norte de Carolina, Charlotte.

Scicon (1972). Safety in Football Stadia: A Method of Assessment, Scientific Control Systems, Londres.

Shields, T.J., Boyce, K.E. e Silcock, G.W.H. (1998). "Towards the Characterization of Large Retail Stores," Proceedings of the First International Symposium on Human Behaviour in Fire, Belfast, Reino Unido.

Shimshoni, J. (2005). "Evacuating High-Rise Buildings". In: ASTM Standardization News.

- Sime J.D. (1968). "Perceived Time Available: The Margin of Safety in Fires," Fire Safety Science - Proceedings of the First International Symposium, Hemisphere Publishing Corp., Washington, DC.
- Sime, "J.D. (1984). Escape from Building Fires: Panic or Affiliation?" Dissertação de Doutorado, Universidade de Surrey, Reino Unido.
- Sime, J. (1980) "The Concept of Panic." In: Fires and Human Behaviour, Nova Iorque.
- Sime, J. (1983). Affiliate behaviour during escape to exits. Journal of Environmental Psychology.
- Sime, J. (1985). "Movement towards the familiar – person and place affiliation in a fire entrapment setting". Environment and Behaviour.
- Sime, J. D. (1986). "Perceived Time Available: The Margin of Safety in Fires". In: Fire Safety Science, 1., Gaithersburg, 1984. Proceedings Nova Iorque: Hemisphere Publishing.
- Simms, D.L. e Hinkley, P.L. (1963). Fire Research Special Report n.º 3, Her Majesty's Stationary Office, Londres.
- Smith, A., James, C., Jones, R., Langston P., Lester E. e Drury, J. (2009). "Modelling contra-flow in crowd dynamics DEM simulation". Safety Science n.º 47.
- Souza, R. M. e Silva, R. F. (2013). "Tragédia em dois tempos: incêndio do Gran Circo Norte-Americano e da boate Kiss, separados 50 anos". In: XXXVI Congresso Brasileiro das Ciências da Comunicação, Intercom: Sociedade Brasileira de Estudos Interdisciplinares da Ciência Brasileira.
- Spearpoint, M. (2004). "The effect of pre-evacuation on evacuation times in the Simulex model". Journal Fire Protection Engineering n.º 14: 5.
- Tanaka, T. (2002) "Introdução à Engenharia da Segurança contra Incêndio em Edificações". Tokyo: The Building Center of Japan, 2002 [conforme ONO 2010].
- Tang, F. e Ren, A. (2008). "Agent-based evacuation model incorporating fire scene and building geometry". Universidade de Tsinghua, China.
- Thompson, P. e Marchant, E. (1995). "A Computer Model for the Evacuation of Large Building Populations," Fire Safety Journal, n.º24.

- Togawa, K. (1955). Report n.º 14, Building Research Institute, Tóquio.
- Valentin, M.V. e Ono, R. (2006). “Saídas de emergência e comportamento humano: Uma abordagem histórica e o estado atual da arte no Brasil”. In: Seminário Internacional Nutau, São Paulo.
- Veeraswamy, A., Lawrence, J. e Galea, E.R. (2009). “Implementation of cognitive mapping, spatial representation and *wayfinding* behaviours of people within evacuation modelling tools”. In: International Symposium on Human Behaviour in Fire, 4, Cambridge. Proceedings London: Interscience Communications.
- Webber, J.B. (1983). Report of the Ontario Public Inquiry into Fire Safety in High-Rise Buildings, Queen’s Printer of Ontario, Ontario.
- Withey, S.B. (1962). In Man and Society in Disaster, Basic, Nova Iorque.
- Wood, P.G. (1972). Fire Research Note 953, Building Research Establishment, Borehamwood, Reino Unido.
- Wood, P.G. (1980) “A survey of Behaviour in Fires.” In: Fires and Human Behaviour, Nova Iorque.
- Xing Z., Zhao, X. , Song, H. e Gao. W. L. (2011). “Applied Research of Performance-based Fire Protection Design in a Large Building”. In: The 5th Conference on Performance-based Fire and Fire Protection Engineering. Proceedings Engeneering n.º 11.
- Xudong, C., Heping, Z., Qiyuan, X., Yong, Z., Hongjiang, Z. e Chenjie, Z. (2009). “Study of announced evacuation drill from a retail store”. Building and Environment n.º44.
- Zmud, M. (2007). “Public Perceptions of High Rise Building Safety and Emergency Evacuation Procedures Research Project”. The Fire Protection Research Foundation, Massachusetts, EUA.

I. PLANTAS DE EMERGÊNCIA DO EDIFÍCIO

As plantas de emergência do edifício foram disponibilizadas pela Multi-Mall-Management, sendo da autoria da Certitécnica. O técnico responsável é a Eng.^a Maria João Costa e datam de setembro de 2009.

O plano de emergência interno do FC integra as plantas dos seis pisos do FC, contudo, de seguida apenas se apresentarão as utilizadas no estudo, nomeadamente as do piso 0, 1 e 2.

Relativamente às plantas a seguir apresentadas, refira-se que os meios de intervenção foram eliminados, a fim de facilitar a interpretação das vias de evacuação. Com efeito, a legenda das plantas de emergência é a indicada na figura abaixo:

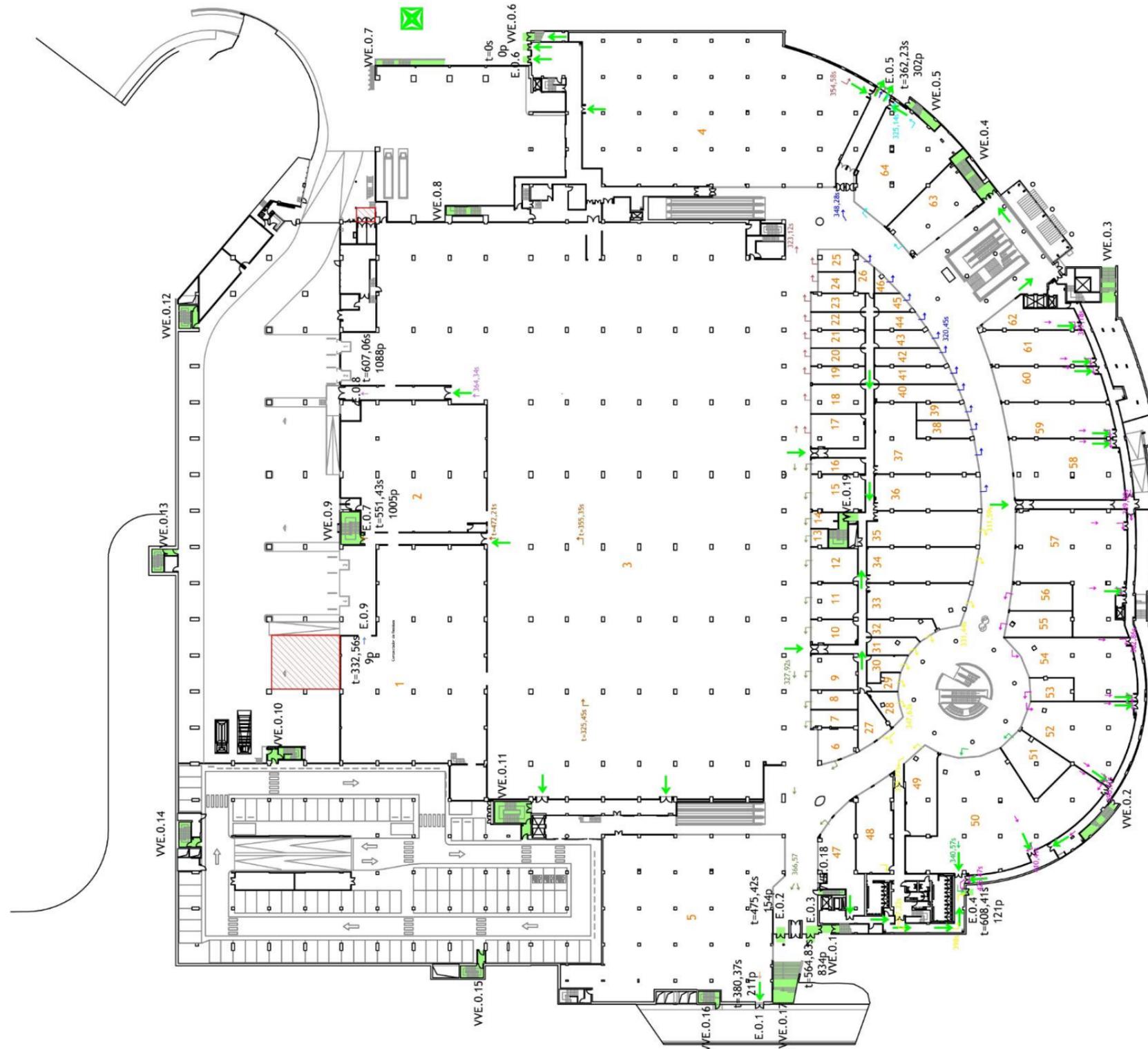
LEGENDA	
	Percurso final de evacuação
	Percurso principal de evacuação definido no plano de emergência
	Percurso de evacuação estimado no FDS+EVAC (várias cores)
	Mudança de direção do percurso de evacuação estimado no FDS+EVAC (várias cores)
	Ponto de encontro definido no plano de emergência

Figura I.1 - Legenda do plano de emergência interno do FC.

(Esta página foi propositadamente deixada em branco)

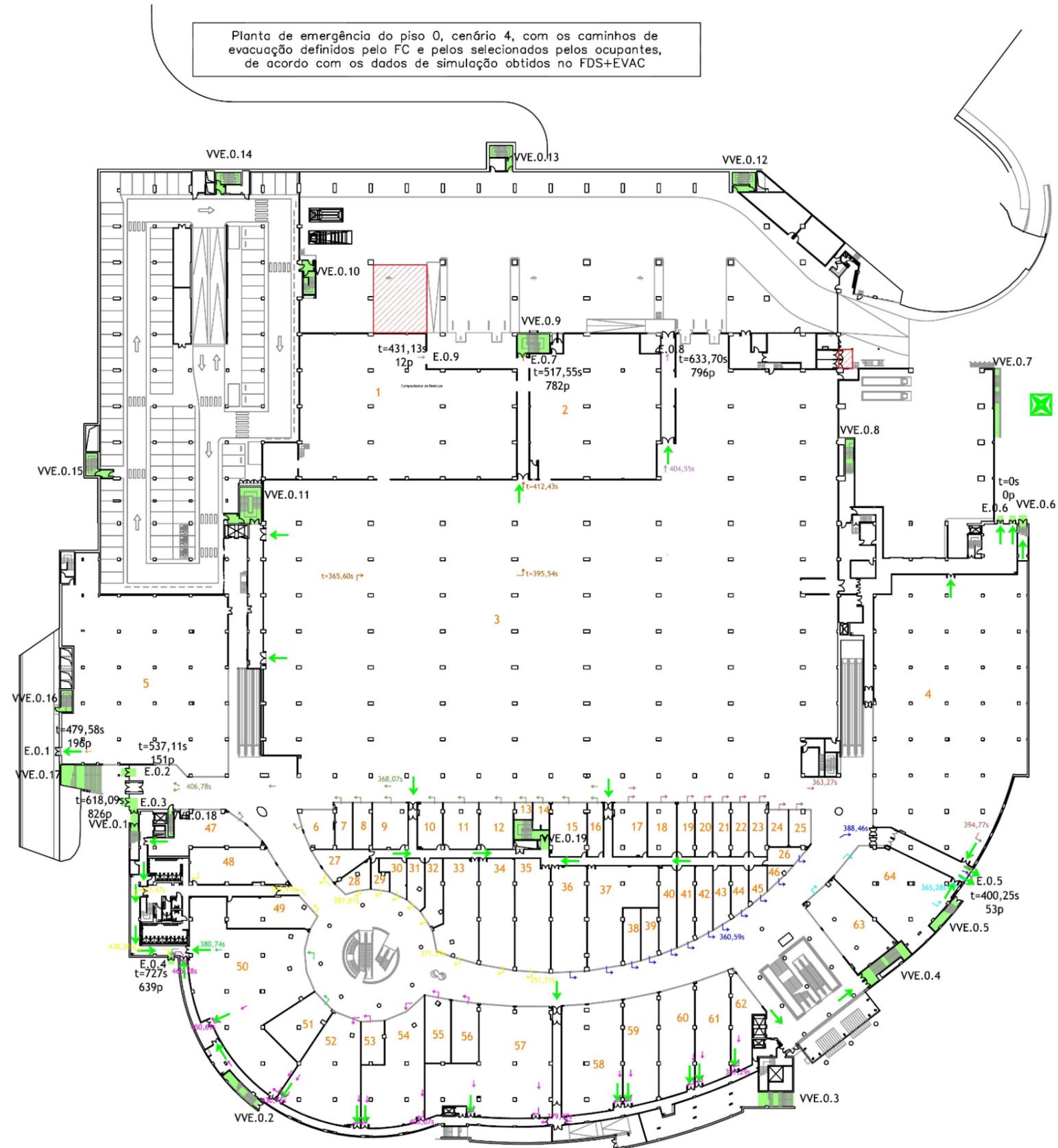
Figura I.2 - Planta de emergência do piso 0 do FC, cenário 3.

Planta de emergência do piso 0, cenário 3, com os caminhos de evacuação definidos pelo FC e pelos selecionados pelos ocupantes, de acordo com os dados de simulação obtidos no FDS+EVAC



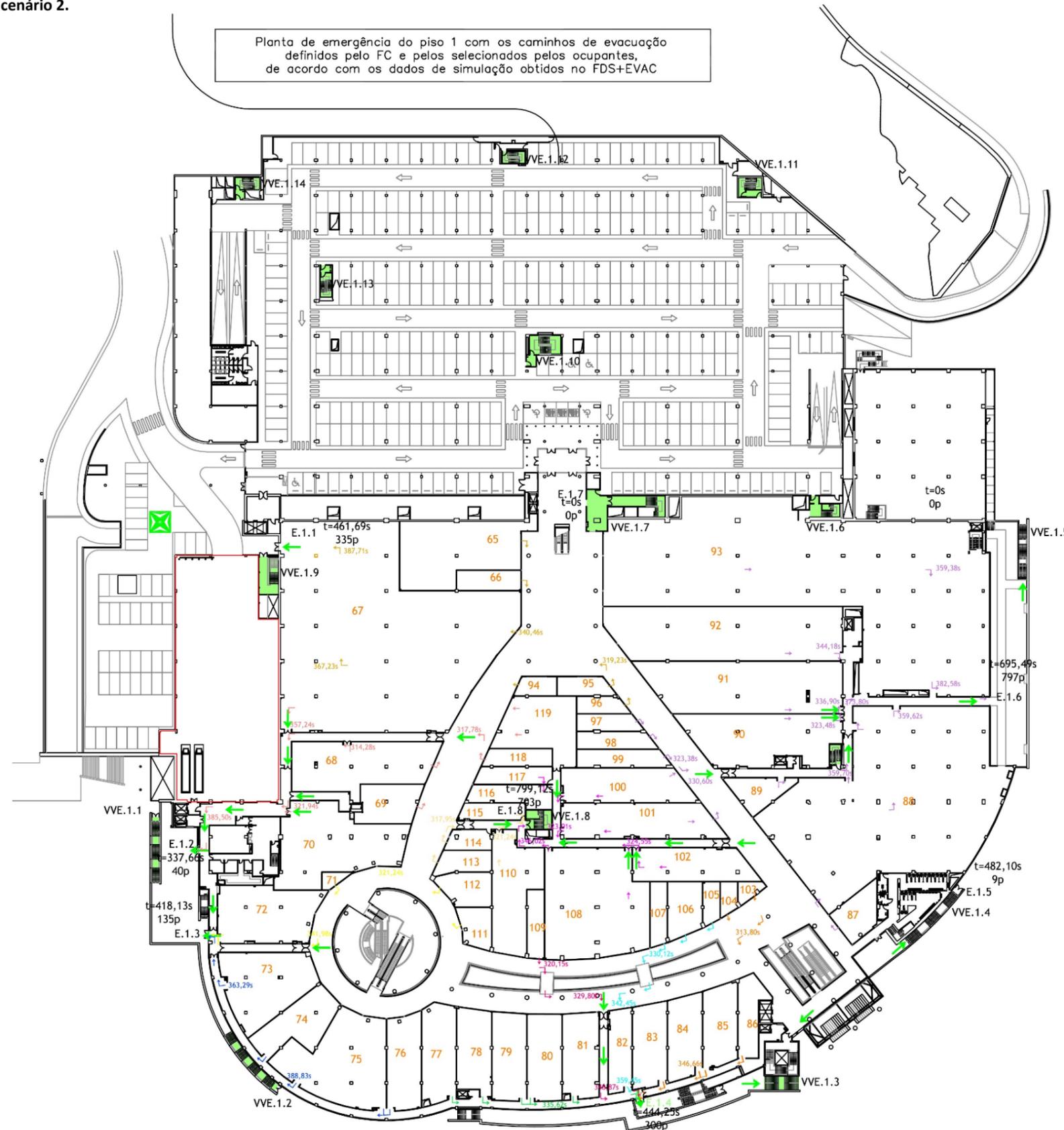
(Esta página foi propositadamente deixada em branco)

Figura I.3 - Planta de emergência do piso 0 do FC, cenário 4.



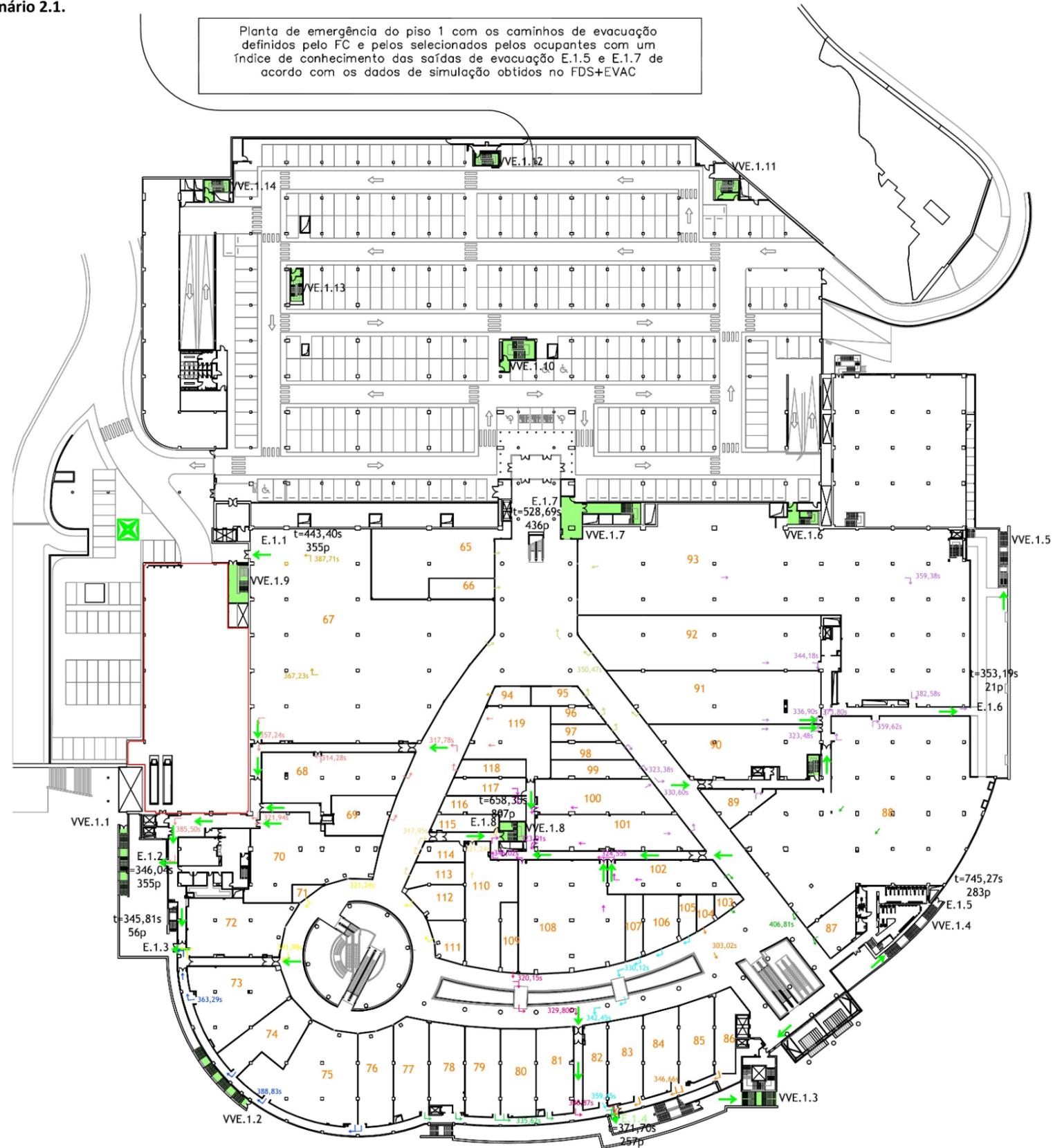
(Esta página foi propositadamente deixada em branco)

Figura I.4 - Planta de emergência do piso 1 do FC, cenário 2.



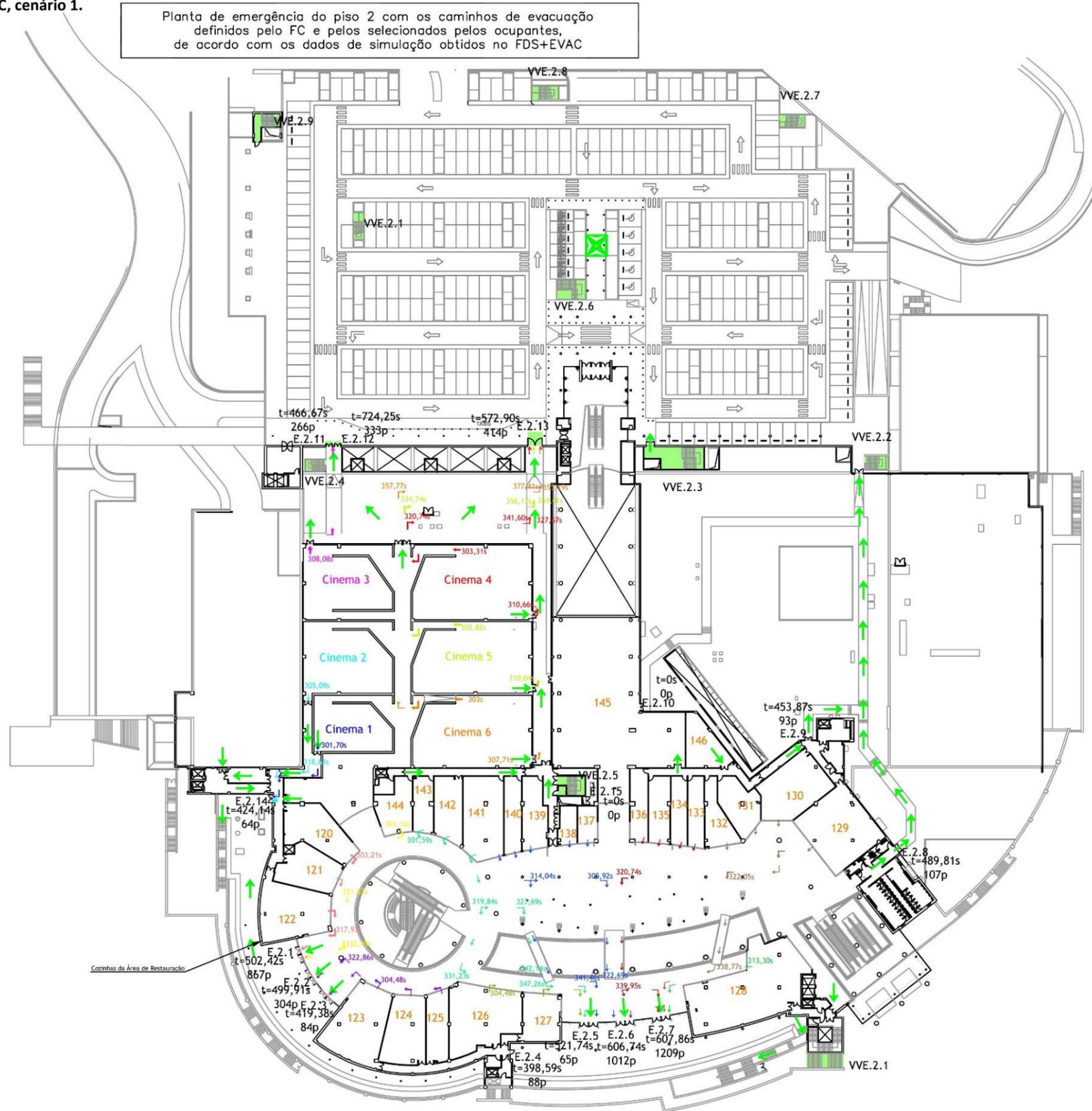
(Esta página foi propositadamente deixada em branco)

Figura I.5 - Planta de emergência do piso 1 do FC, cenário 2.1.



(Esta página foi propositadamente deixada em branco)

Figura I.6 - Planta de emergência do piso 2 do FC, cenário 1.



(Esta página foi propositadamente deixada em branco)

II. ESTUDO DO MÉTODO DE CÁLCULO DO EFETIVO

Redução da área calculada por CAD	Cálculo do efetivo segundo o RT-SCIE									
	30% *		25%		20%		10%		0%	
	Efetivo	Densidade	Efetivo	Densidade	Efetivo	Densidade *	Efetivo	Densidade	Efetivo	Densidade
Piso 0	3.480	0,195	3.724	0,195	3.975	0,195	4.459	0,194	4.956	0,194
Piso 1	2.171	0,170	2.319	0,169	2.473	0,169	2.777	0,169	3.083	0,169
Piso 2	4.679	0,695	4.906	0,680	5.132	0,667	5.582	0,645	6.034	0,627
Total	10.330	0,276	10.949	0,273	11.580	0,271	12.818	0,267	14.073	0,264

Redução da área calculada por CAD	Cálculo do efetivo segundo a Revista do Fórum									
	30%		25%		20%		10%		0%	
	Efetivo	Densidade	Efetivo	Densidade	Efetivo	Densidade *	Efetivo *	Densidade	Efetivo	Densidade
Piso 0	3.480	0,195	3.724	0,195	3.975	0,195	4.459	0,194	4.956	0,194
Piso 1	2.171	0,170	2.319	0,169	2.473	0,169	2.777	0,169	3.083	0,169
Piso 2	4.338	0,773	4.451	0,761	4.563	0,750	5.582	0,731	5.013	0,714
Total	9.989	0,275	10.494	0,271	11.011	0,268	12.818	0,262	13.052	0,257

Redução da área calculada por CAD	Parques de estacionamento			
	Contagem CAD		Revista Fórum	
	Estaciona-mento	Densidade	Estaciona-mento	Densidade
Piso 0	-	-	-	-
Piso 1	-	-	-	-
Piso 2	-	-	-	-
Total	10.316	0,284	10.200	0,281

Quadro II.1 - Metodologia de cálculo do efetivo

* Valores adotados

Esta página foi deixada em branco propositadamente.

III. CÁLCULO DO EFETIVO E DETERMINAÇÃO DOS LOCAIS DE RISCO DO EDIFÍCIO

Com base nas plantas de arquitetura disponibilizadas pela *MMM* procedeu-se à medição de todas as lojas e espaços comuns do edifício com vista ao cálculo do efetivo (com uma redução de 25%) com base nos critérios do RT-SCIE definiu-se o efetivo e a classificação do risco de cada espaço.

Piso	Identificação	Área útil (m ²)	Redução de 25% da área útil (m ²)	Tipo de utilização	Local de risco	Índice de ocupação (p/m ²)	Efetivo (p)
Piso 0	Hipermercado	1458,36	1093,77	Área do hipermercado	B	0,2	1752
		886,65	664,99				
		9330,51	6997,88				
		1937,31	1452,98				
	Administração	1428,60	1071,45	Zona administrativa	A	0,1	8
	Setor A.0	38,57	28,93	Local de venda	A	0,2	6
		54,44	40,83	Local de venda	A	0,2	9
		44,08	33,06	Local de venda	A	0,2	7
		79,16	59,37	Local de venda	A	0,2	12
		51,55	38,66	Local de venda	A	0,2	8
		79,31	59,48	Local de venda	A	0,2	12
		77,229	57,92	Local de venda	A	0,2	12
		15,78	11,84	Local de venda	A	0,2	3
		20,026	15,02	Local de venda	A	0,2	4
		101,997	76,50	Local de venda	A	0,2	16
		41,687	31,27	Local de venda	A	0,2	7
		95,09	71,32	Local de venda	A	0,2	15
		75,62	56,72	Local de venda	A	0,2	12
		45,92	34,44	Local de venda	A	0,2	7
		50,051	37,54	Local de venda	A	0,2	8
		49,27	36,95	Local de venda	A	0,2	8
		44,16	33,12	Local de venda	A	0,2	7
		32,915	24,69	Local de venda	A	0,2	5
38,16		28,62	Local de venda	A	0,2	6	
40,87	30,65	Local de venda	A	0,2	7		
30,46	22,85	Local de venda	A	0,2	5		
55,32	41,49	Local de venda	A	0,2	9		

Piso	Identificação	Área útil (m2)	Redução de 25% da área útil (m2)	Tipo de utilização	Local de risco	Índice de ocupação (p/m2)	Efetivo (p)	
	Setor B.0	38,91	29,18	Local de venda	A	0,2	6	
		22,14	16,61	Local de venda	A	0,2	4	
		39,85	29,89	Local de venda	A	0,2	6	
		42,71	32,04	Local de venda	A	0,2	7	
		57,80	43,35	Local de venda	A	0,2	9	
		183,58	137,69	Local de venda	A	0,2	28	
		188,68	141,51	Local de venda	A	0,2	29	
		205,16	153,87	Local de venda	A	0,2	31	
		196,64	147,48	Local de venda	A	0,2	30	
		247,44	185,58	Local de venda	A	0,2	38	
		48,15	36,11	Local de venda	A	0,2	8	
		40,22	30,17	Local de venda	A	0,2	7	
		69,11	51,83	Local de venda	A	0,2	11	
		68,69	51,52	Local de venda	A	0,2	11	
		63,33	47,50	Local de venda	A	0,2	10	
		47,44	35,58	Local de venda	A	0,2	8	
		42,38	31,79	Local de venda	A	0,2	7	
		30,47	22,85	Local de venda	A	0,2	5	
		15,85	11,89	Local de venda	A	0,2	3	
	Setor C.0	157,24	117,93	Local de venda	A	0,2	24	
		152,74	114,55	Local de venda	A	0,2	23	
	Setor D.0	132,73	99,55	Local de venda	A	0,2	20	
		729,98	547,49	Local de venda	B	0,2	110	
		119,09	89,32	Local de venda	A	0,2	18	
		310,61	232,96	Local de venda	A	0,2	47	
		50,68	38,01	Local de venda	A	0,2	8	
		291,02	218,27	Local de venda	A	0,2	44	
		41,42	31,06	Local de venda	A	0,2	7	
		83,30	62,47	Local de venda	A	0,2	13	
		537,88	403,41	Local de venda	B	0,2	81	
	Setor E.0	327,50	245,62	Local de venda	A	0,2	50	
		189,10	141,82	Local de venda	A	0,2	29	
		192,16	144,12	Local de venda	A	0,2	29	
		179,21	134,41	Local de venda	A	0,2	27	
		100,29	75,22	Local de venda	A	0,2	16	
	Setor F.0	198,00	148,50	Local de venda	A	0,2	30	
		365,97	274,48	Local de venda	B	0,2	55	
	WC.0	123,95	92,96	Balneários para uso público	B	1	93	
	Espaços comuns	3370,14	2527,61	Espaços comuns	B	0,2	506	
	TOTAL PISO							3724

Piso	Identificação	Área útil (m2)	Redução de 25% da área útil (m2)	Tipo de utilização	Local de risco	Índice de ocupação (p/m2)	Efetivo (p)
Piso 1	Setor G.1	374,80	281,10	Local de venda	B	0,2	57
		64,99	48,74	Local de venda	A	0,2	10
		1966,05	1474,53	Zona administrativa	A	0,1	8
	Setor H.0	337,61	253,21	Local de venda	B	0,2	51
		118,23	88,67	Local de venda	A	0,2	18
		411,39	308,54	Local de venda	B	0,2	62
		16,86	12,65	Local de venda	A	0,2	3
		281,13	210,84	Local de venda	A	0,2	43
		281,29	210,97	Local de venda	A	0,2	43
	Setor I.1	168,95	126,71	Local de venda	A	0,2	26
		380,12	285,09	Local de venda	B	0,2	58
		166,44	124,83	Local de venda	A	0,2	25
		167,93	125,94	Local de venda	A	0,2	26
		154,26	115,69	Local de venda	A	0,2	24
		150,44	112,83	Local de venda	A	0,2	23
		154,89	116,17	Local de venda	A	0,2	24
		152,96	114,72	Local de venda	A	0,2	23
	Setor J.1	99,12	74,34	Local de venda	A	0,2	15
		145,92	109,44	Local de venda	A	0,2	22
		141,42	106,07	Local de venda	A	0,2	22
		138,85	104,13	Local de venda	A	0,2	21
		94,19	70,64	Local de venda	A	0,2	15
	Setor K.1	87,49	65,62	Local de venda	A	0,2	14
		1663,31	1247,48	Local de venda	A	0,2	3
		78,59	58,94	Local de venda	A	0,2	12
	Setor L.1	363,13	272,35	Local de venda	B	0,2	55
		503,46	377,60	Local de venda	B	0,2	76
		657,30	492,98	Local de venda	B	0,2	99
		2430,96	1823,22	Local de venda	B	0,2	365
	Setor M.1	38,06	28,55	Local de venda	A	0,2	6
		53,01	39,75	Local de venda	A	0,2	8
41,39		31,04	Local de venda	A	0,2	7	
54,24		40,68	Local de venda	A	0,2	9	
66,63		49,97	Local de venda	A	0,2	10	
83,25		62,43	Local de venda	A	0,2	13	
226,69		170,02	Local de venda	A	0,2	35	
224,17		168,13	Local de venda	A	0,2	34	

Piso	Identificação	Área útil (m2)	Redução de 25% da área útil (m2)	Tipo de utilização	Local de risco	Índice de ocupação (p/m2)	Efetivo (p)
	Setor N.1	190,90	143,17	Local de venda	A	0,2	29
		21,87	16,40	Local de venda	A	0,2	4
		28,31	21,23	Local de venda	A	0,2	5
		306,51	229,88	Local de venda	A	0,2	46
		93,04	69,78	Local de venda	A	0,2	14
		57,03	42,77	Local de venda	A	0,2	9
		550,60	412,95	Local de venda	B	0,2	83
		55,65	41,74	Local de venda	A	0,2	9
		246,33	184,75	Local de venda	A	0,2	37
		63,53	47,65	Local de venda	A	0,2	10
		85,28	63,96	Local de venda	A	0,2	13
		65,38	49,04	Local de venda	A	0,2	10
	28,75	21,56	Local de venda	A	0,2	5	
	Setor O.1	52,91	39,68	Local de venda	A	0,2	8
		84,02	63,01	Local de venda	A	0,2	13
		66,16	49,62	Local de venda	A	0,2	10
		60,56	45,42	Local de venda	A	0,2	10
		219,78	164,84	Local de venda	A	0,2	33
	WC.1	142,28	106,71	Balneários para uso público	B	1	107
	Espaços comuns	3321,55	2491,16	Espaços comuns	B	0,2	499
TOTAL PISO							2319
Piso 2	Setor P.2	129,38	97,04	Restauração	C	1	98
		106,86	80,15	Restauração	C	1	81
		171,04	128,28	Restauração	C	1	129
	Setor Q.2	182,88	137,16	Restauração	C	1	138
		127,82	95,87	Restauração	C	1	96
		68,81	51,61	Restauração	C	1	52
		194,22	145,67	Restauração	C	1	146
		83,75	62,81	Restauração	C	1	63
		347,53	260,65	Restauração	C	1	261
	Setor S.2	212,08	159,06	Restauração	C	1	160
		156,83	117,62	Restauração	C	1	118
		89,24	66,93	Restauração	C	1	67
		87,08	65,31	Restauração	C	1	66
		56,66	42,50	Restauração	C	1	43
		59,47	44,60	Restauração	C	1	45
		67,90	50,93	Restauração	C	1	51
		61,63	46,22	Restauração	C	1	47
Setor T.2	34,59	25,94	Restauração	C	1	26	
	33,99	25,49	Restauração	C	1	26	

Piso	Identificação	Área útil (m2)	Redução de 25% da área útil (m2)	Tipo de utilização	Local de risco	Índice de ocupação (p/m2)	Efetivo (p)	
	Setor U.2	78,02	58,52	Restauração	C	1	59	
		74,03	55,52	Restauração	C	1	56	
		165,76	124,32	Restauração	C	1	125	
		88,11	66,08	Restauração	C	1	67	
		58,96	44,22	Restauração	C	1	45	
		78,26	58,70	Restauração	C	1	59	
	Setor V.2	783,18	587,39	Bowling	C	1	588	
		81,05	60,79	Bowling	C	1	61	
	WC.2	169,59	127,19	Balneários para uso público	B	1	128	
	Espaços comuns	1081,32	810,99	Exterior		0,2	163	
		2243,15	1682,36	Interior		0,2	337	
	Cinema	1505,00	1354,50	Cinema	B	-	1505,00	
	TOTAL PISO							4906
	TOTAL EDIFÍCIO							10949

Quadro III.1 - Cálculo do efetivo e classificação dos locais de risco do edifício