



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

Evacuação de Pessoas em emergência em estádios de futebol: A Arena Castelão em Fortaleza, Brasil.

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Segurança aos Incêndios Urbanos

Autor

Jectan Vital de Oliveira

Orientador

Professor Doutor João Paulo Correia Rodrigues - DEC_UC_Prtugal

Professor Doutor George Cajaty B. Braga - CBMDF_Brasil

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, Outubro, 2014

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, à minha família, sem os quais não teria realizado este curso.

Ao Professor João Paulo Correia Rodrigues, pela atenção dispensada desde o início do curso até à conclusão desta dissertação.

Ao Professor Doutor George Cajaty B. Braga pela amizade e apoio que teve durante todo o trabalho de orientação.

Aos colegas de mestrado que passaram ao nível de amigo Moisés, Maria Rosário, Hugo e Humberto.

E finalmente, gostaria de expressar minha gratidão à Companhia de Bombeiros Sapadores de Coimbra pelo acolhimento excepcional durante o curso.

RESUMO

A evacuação de estádios de futebol, locais com grandes concentração de público e arquitetura complexa, é uma questão que merece atenção especial e que carece de estudo científico. Como a simulação real em situações de emergência é raro, caro e de difícil execução, o uso de ferramentas computacionais se tornou uma boa alternativa.

O estudo buscou realizar levantamento de conceitos teóricos em torno da evacuação de pessoas em emergência em locais de aglomeração de público, bem como normativo relativo a dimensionamento prescritivo de estádios de futebol.

O principal objetivo foi a análise prescritiva do dimensionamento das saídas de emergência feita no estádio Arena Castelão, em Fortaleza, Brasil, confrontando-o com resultados obtidos por método baseado em desempenho.

A análise prescritiva foi feita com base na legislação brasileira, porém os resultados podem ser estendidos para âmbito internacional pela similaridade com o previsto no *Guide To Safety At Sports Grounds (Green Guide)* e a análise prescritiva através de modelação de multidão e simulação computacional de evacuação com FDS+EVAC.

Por fim, concluiu-se que o uso de análise baseada em desempenho estabelece parâmetros mínimos de dimensionamento, porém não garante o funcionamento ideal do dos espectadores em estádios de futebol. Sendo a metodologia baseada em desempenho uma ferramenta importante para verificar o sistema de evacuação em emergência e otimizar o a geometria sugerida prescritivamente.

Palavras-chave: Estádio de futebol, evacuação em emergência, FDS+EVAC, simulação computacional, modelação de multidões.

ABSTRACT

The evacuation of football stadiums, places with large concentration of public and complex architecture, is an issue that deserves special attention and that lacks scientific study. Because the actual simulation in emergency situations is rare, expensive and difficult to implement, the use of computational tools has become a good alternative.

The survey sought to accomplish estufo theorists around the emergency evacuation of people in places of public agglomeration of concepts as well as normative for the prescriptive design of football stadiums.

The main objective was to prescriptive analysis of scaling of emergency exits made in Castellan Arena stadium in Fortaleza, Brazil, comparing it with results of performance-based method.

Prescriptive analysis was based on Brazilian law, but the results can be extended to the international level by the similarity with the provisions of Guide To Safety At Sports Grounds (Green Guide) and the prescriptive analysis by modeling and computer simulation of crowd evacuation with FDS + EVAC.

Finally, it was concluded that the use of performance-based analysis establishes minimum design parameters, but does not warrant the abandonment of the ideal functioning of spectators at football stadiums. Being a methodology based on performance an important tool to check the system for evacuation in emergency and optimize the the geometry suggested prescriptively.

Keywords: Football stadium, emergency evacuation, FDS + EVAC, computer simulation, modeling crowds.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	II
ABSTRACT	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE QUADROS	X
SIMBOLOGIA	XI
ABREVIATURAS	XII
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Estrutura da tese.....	4
2. COMPORTAMENTO DE PESSOAS EM EMERGÊNCIA	5
2.1 Violência no futebol	6
2.2 Tragédias no Futebol	8
2.2.1 No Mundo.....	8
2.2.2 No Brasil.....	9
2.3 Pânico	10
2.4 Estudos Teóricos e Experimentais Sobre Pânico em Multidões	11
2.5 Fenómenos da Evacuação de Multidões.....	14
2.6 Considerações Finais	18
3. LEGISLAÇÃO DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO	19
3.1 Análise Prescritivo x Análise de desempenho.....	21
3.2 Critérios de Dimensionamento de Saídas de Emergência	24
3.3 Estados Unidos da América (EUA).....	27
3.4 Reino Unido.....	29
3.5 Portugal.....	29
3.6 Brasil.....	34
3.7 ABNT – NBR 9077: 2003 (Saídas de emergência em edifícios).....	35
3.8 Nota Técnica de Referência em Prevenção Contra Incêndio e Pânico em Estádios e Áreas Afins (Ministério da Justiça, 2012)	37

3.8.1	Área de Acomodação de público – Sectores	38
3.8.1.1	Patamares (degraus) das bancadas.....	38
3.8.1.2	Cadeiras	41
3.8.1.3	Inclinações das bancadas	42
3.8.2	Saídas.....	43
3.8.2.1	Regras Gerais.....	43
3.8.2.2	Saídas Verticais	45
3.8.2.3	Descargas e Espaço Exterior	46
3.8.2.4	Guarda-Corpos, Barreiras e Corrimões	46
3.8.2.5	Dimensionamento de Saídas.....	52
3.8.3	Outras Exigências	56
3.8.4	Edificações de Caráter Temporário	57
3.8.5	Prescrições Diversas	57
4.	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE EVACUAÇÃO	58
4.1	Simulação da Evacuação - FDS+Evac	61
4.2	Aplicações de Simulação Computacional em evacuação.....	64
4.2.1	O impacto do método de dimensionamento das saídas de emergência sobre o projeto arquitetónico de edifícios altos.....	64
4.2.2	Aplicação do FDS+EVAC para validação de requisitos normativos de saídas de emergência e comparação com parâmetros de desempenho	65
4.2.3	Simulação Computacional de Incêndio Aplicada ao Projeto de Arquitetura	67
4.2.4	A Questão do Escape em Edifícios Altos: A Influência da Fumo de Incêndio na Proteção da Vida.....	68
4.2.5	Desenvolvimento de Modelo para Simulação de Situações de Evacuação de Multidões.....	68
4.2.6	Simulação de Evacuação de Multidão por Autômato Celular: Estudo de Caso em um Estádio de Futebol	69
4.3	Considerações Finais	71
5.	CASO DE ESTUDO	72
5.1	Estádio Ninho dos Pássaros (China).....	72
5.2	Estádio de Leiria (Portugal).....	74
5.3	Estádio Plácido Aderaldo Castelo (Arena Castelão)	75
5.4	Métodos de avaliação	77
5.4.1	Análise Prescritiva	77
5.4.2	Modelação de Multidões	84
5.4.2.1	O projeto do estádio.....	84
5.4.2.2	Metodologia de análise.....	86
5.4.2.3	Tempo de evacuação das áreas de assentos.....	89

5.4.2.4	Tempo de evacuação das áreas de circulação.....	93
5.4.2.5	Tempo de evacuação até um local seguro	97
5.4.2.6	Saída normal (sem emergência)	101
5.4.2.7	Conclusão da modelação	101
5.4.3	Evacuação no estádio sem emergência.....	102
5.4.4	Eventos atípicos no campo	104
5.4.4.1	Espetáculo de Paul McCartney.....	105
5.4.4.2	Espetáculo da Beyoncé.....	107
5.4.5	Simulação computacional de evacuação com FDS+EVAC	108
5.4.5.1	Cenário 1 (Bancada superior)	109
5.4.5.2	Cenário 2 (Camarotes – Nível 3).....	111
5.4.5.3	Cenário 3 (Espetáculo no campo).....	113
5.4.6	Considerações Finais	115
6.	CONCLUSÃO.....	116
	REFERÊNCIAS	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Acidente no Estádio da Fonte Nova em Salvador, Bahia, (Carneiro, 2012).....	2
Figura 2 - Adeptos presos no alambrado durante a tragédia de Hillsborough, (UOL, 2014).....	7
Figura 3 - Os hooligans durante agressão, (Grigorovski, 2007).....	8
Figura 4 – Cedência da vedação: momento dramático, (Grigorovski, 2007).....	10
Figura 5 – Fenômeno de acompanhar a multidão, (Araújo, 2013).....	15
Figura 6 - Cenário de convergência de pessoas e formação do “ARCO” Boate Kiss, (Araújo, 2013).....	16
Figura 7 - Tipos de Arco, (Araújo, 2013).....	16
Figura 8 - Escolhas preferenciais das saídas de evacuação (Araújo, 2013).	17
Figura 9 - Distribuição ideal das saídas de evacuação (Araújo, 2013).	17
Figura 10 - Adeptos de futebol em pânico, (Helbing e Buzna, 2003).....	18
Figura 11 – Velocidade média de evacuação em função do nível de iluminação no piso da rota de evacuação (Ono, 2010).....	25
Figura 12 - Tempo para abandono, (DiNenno et al, 2002).....	26
Figura 13 - Exemplo de sinalização (Sinalux, 2014).....	26
Figura 14 – Número mínimo de saídas para construções novas – NFPA 101. (Ono, 2010)....	28
Figura 15 – Unidade de Passagem, (Dias, 2010).....	32
Figura 16 - Detalhe do comprimento e número máximo de assentos, (Ministério da Justiça, 2012).....	39
Figura 17 - Detalhe dos patamares para público em pé, (Ministério da Justiça, 2012).....	40
Figura 18 – Detalhe das cadeiras e dos patamares das bancadas (Ministério da Justiça, 2012).	41
Figura 19 –Detalhe das cadeiras nas bancadas e guarda-corpos. (Ministério da Justiça, 2012).	42
Figura 20 – Saídas de evacuação e escoamento do efetivo. (Ministério da Justiça, 2012).	44
Figura 21 - Dimensões de corrimões e guarda-corpos da escada. (Ministério da Justiça, 2012).	45
Figura 22 - Barreiras, guarda-corpos e corrimões centrais: efetivo ou carga de incêndio, altura e disposição (Ministério da Justiça, 2012)	47
Figura 23 - Corrimões centrais e laterais. (Ministério da Justiça, 2012).....	48
Figura 24 – Perspetiva do vomitório padrão (Ministério da Justiça, 2012).	49

Figura 25 – Perspetiva dos corrimões centrais e laterais (Ministério da Justiça, 2012).....	50
Figura 26 - Barreiras anti-esmagamento – posição (Ministério da Justiça, 2012).	50
Figura 27 - Barreiras anti-esmagamento – contínuas e não-contínuas. (Ministério da Justiça, 2012).....	51
Figura 28 - Barreiras retardantes (controlo de velocidade), (Ministério da Justiça, 2012).	52
Figura 29 – Distância máxima a percorrer e acessos. (Ministério da Justiça, 2012).....	55
Figura 30 – Sinalização de público (Ministério da Justiça, 2012).	56
Figura 31 – Exemplo de visualização do FDS+Evac, (Korhonen; Hostikka, 2010).	62
Figura 32 - Representação superior do indivíduo, (Korhonen; Hostikka, 2010).	64
Figura 33 – População total no prédio em situação de incêndio. (Braga, 2010).....	66
Figura 34 – Estádio de futebol modelado com destaque para o quadrante utilizado na simulação e a sua representação na grade celular bidimensional, (Carneiro, 2012).	70
Figura 35 – Ninho dos Pássaros, (Revista Proteger Nº 7, 2010).	72
Figura 36 – Estádio de Leiria, (Revista Proteger Nº 7, 2010).	74
Figura 37 - Estado do Ceará, (SECOPA, 2010).	76
Figura 38 - Fotografia aérea do Castelão (SECOPA, 2010).	76
Figura 39 – Fotografia de um corrimão da escada do estádio.	80
Figura 40 – Fotografia de uma placa de saída de emergência do estádio.	81
Figura 41 – Fotografia de uma entrada do vomitório do estádio.....	81
Figura 42 – Fotografia com visão geral da bancada do estádio.....	82
Figura 43 – Fotografia das barreiras retardantes na entrada do estádio	82
Figura 44 – Fotografia de uma escada de entrada do estádio com corrimões a 2,40 m.	83
Figura 45 – Fotografia da bancada do estádio com um corrimão nos acessos radiais.	83
Figura 46 – Níveis do estádio	84
Figura 47 – Pontos de acesso ao estádio.	85
Figura 48 – Pontos de acesso ao <i>podium</i>	86
Figura 49 – Tempos de saída e demanda de cada vomitório (Bancada superior).	90
Figura 50 – Tempos de saída e demanda de cada vomitório (Bancada inferior)	92
Figura 51 – Tempo de evacuação (Nível 5 – circulação dos média).....	93
Figura 52 – Tempo de evacuação (Nível 4 – circulação junto a zona dos camarotes).....	94
Figura 53 – Tempo de evacuação (Nível 3 – circulação dos camarotes e bancadas superior).	95
Figura 54 – Pontos de saída (Nível 2 – setor oeste).	96
Figura 55 – Tempos de saída (portões da bancada superior).	98
Figura 56 – Tempos de saída (portões do Nível 2).	99
Figura 57 – Pontos de saída do <i>podium</i>	100
Figura 58 – Fotografia da bancada durante o jogo Nigéria e Espanha.....	102
Figura 59 – Número de pessoas que escapariam em função do nível de pânico da multidão (Helbing et al., 2000).....	103

Figura 60 – Concentração de público no campo do estádio no espetáculo do cantor Paul McCartney na Arena Castelão em 2013.....	105
Figura 61 – Planta com as modificações do estádio para receber espetáculo do cantor Paul McCartney na Arena Castelão em 2013.....	106
Figura 62 – Fotografia com as modificações do estádio para a realização do espetáculo do cantor Paul McCartney na Arena Castelão em 2013.....	106
Figura 63 – Concentração de público no campo do estádio no espetáculo da cantora Beyoncé na Arena Castelão em 2013.....	107
Figura 64 – Planta com as modificações do estádio para receber o espetáculo da cantora Beyoncé na Arena Castelão em 2013.....	107
Figura 65 – Fotografia com as modificações do estádio para a realização do espetáculo da cantora Beyoncé na Arena Castelão em 2013.	108
Figura 66 – Cenário de simulação 1.	109
Figura 67 – Modelo de simulação 1 no FDS.....	110
Figura 68 – Modelo de simulação 01 no FDS (ampliado).	110
Figura 69 – Evacuação do efetivo nas bancadas superiores.....	111
Figura 70 – Cenário de simulação 2.	112
Figura 71 – Modelo de simulação 2 no FDS.....	112
Figura 72 – Evacuação do efetivo nos camarotes – Nível 3.....	112
Figura 73 – Cenário de simulação 3.	113
Figura 74 – Modelo de simulação 3 no FDS.....	114
Figura 75 – Evacuação do efetivo dentro de campo.....	114

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Exemplo de valores de distância a percorrer pela NFPA 101. (Ono, 2010).....	28
Quadro 2 – Índices de ocupação, (Dias, 2010).....	31
Quadro 3 – Numero mínimo de saídas, largura mínima e vias em função de UP, (Dias, 2010)	32
Quadro 4 – Distância máxima a percorrer, (Dias, 2010).....	33
Quadro 5 – Parte da tabela 5 da NBR 9077 (Classificação das edificações quanto a suas ocupações).....	35
Quadro 6 - Parte da tabela 7 da NBR 9077 (Número de saídas e tipos de escadas)	36
Quadro 7 - Tabela 6 da NBR 9077 (Distâncias máximas a serem percorridas).	37
Quadro 8 – Critérios de sobrevivência, (Braga, 2008).	59
Quadro 9 – Erros detetados ao longo das diferentes fases de análise do projeto do Estádio Castelão.	79
Quadro 10 – Quantidade expectadores – Copa do Mundo.....	84

SIMBOLOGIA

N - número de unidades de passagem

P - População (pessoas)

C - Capacidade da unidade de passagem

x - extensão da bancada (metros)

n - número de degraus da bancada.

F - taxa de fluxo máximo (pessoas por minuto por metro)

T - tempo máximo de abandono (minuto)

E - Capacidade de escoamento (pessoas por metro)

L - largura da saída (metro)

ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANPC	Agência Nacional de Proteção Civil
CB	Comitê Brasileiro
RTSCIE	Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios
RJSCIE	Regime Jurídico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios
SENASP	Secretaria Nacional de Segurança Pública
SCIE	Segurança Contra Incêndios em Edifícios
CFD	Computational Fluid Dynamics
FDS	Fire Dynamics Simulator
FIFA	Fédération Internationale de Football Association
NFPA	National Fire Protection Association
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NT	Norma Técnica
NIST	Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia dos Estados Unidos da América
UT	Utilização tipo
USP	Universidade de São Paulo
CO	Monóxido de carbono
HCN	Ácido cianídrico
O ₂	Oxigênio
CO ₂	Dióxido de carbono

1. INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

Com nomeação do Brasil como país organizador do Mundial de Futebol de 2014 e sendo a Cidade de Fortaleza uma das cidades onde se iriam realizar vários jogos de futebol esperava-se um cenário propício à aglomeração de público, e conseqüentemente, o aumento de cenários de pânico e dificuldade de evacuação durante o período da competição, bem como em eventos posteriores. Desta forma, como principal motivação para a realização desta dissertação, está o elevado número de vidas humanas que podem ser, ou não, salvas, devido ao dimensionamento das vias e saídas de evacuação em construções com elevado efetivo, mais propriamente, estádios de futebol.

No Brasil, o futebol é considerado o desporto de eleição e, como consequência, é responsável pelas maiores mobilizações de adeptos. Por essa razão, facilmente se consegue perceber a facilidade e frequência com que surgem diversas situações de violência e de pânico em estádios de futebol. Apesar de se terem realizado vários debates em torno da violência em estádios de futebol e se terem criado várias entidades governamentais (Estatuto de Defesa do Torcedor e Comissão Nacional de Prevenção da Violência e Segurança nos Espetáculos) com o intuito de minimizar situações de violência em massa, estes cenários continuam a suceder, provocando situações de pânico e dificuldade de evacuação das pessoas, pelo que tragédias de maior dimensão podem ser evitadas caso sejam criados um número adequado de percursos de evacuação. Sendo este assunto um tema atual e de relativa importância.

Segundo Grigorovski (2007), as medidas tomadas pelo governo brasileiro para evitarem e controlarem os atos de violência, ainda se encontram aquém das necessidades reais deste tipo de violência, pelo que situações de pânico continuarão a suceder-se.

O desporto considerado por Grigorovski (2007) como paixão nacional, que teve início no Brasil através de Charles Miller em 1894, e devido ao elevado número de estádios de futebol existentes no Brasil, existe o risco de se criar um considerável número de situações adversas quer seja pela violência presente nos estádios brasileiros ou por uma situação de incêndio. Deste modo, a necessidade de evacuação de pessoas que, sob restrições físicas e temporais,

referidas nas situações anteriores, é uma questão que merece especial atenção, pois, uma falha durante a evacuação, pode ser letal para um elevado número de pessoas. Além disso, Zheng et al. (2009), reforça ainda que o próprio comportamento da multidão de pessoas pode causar lesões ou a morte de pessoas, pois em situações de emergência ou pânico, as pessoas tendem a correr ao mesmo tempo para as mesmas saídas de emergência, ocorrendo choques, empurrões, e esmagamento entre si.



Figura 1 – Acidente no Estádio da Fonte Nova em Salvador, Bahia, (Carneiro, 2012).

A estimativa do tempo de evacuação de edificações é de grande importância para que seja garantida a segurança das pessoas e existem várias metodologias que procuram estimar este tempo. Os modelos iniciais partiram de concepções baseadas no escoamento hidráulico, porém o tempo de evacuação é um fenômeno de difícil modelação, principalmente por envolver reações humanas, as quais nem sempre podem ser previstas na sua totalidade.

Como tal, a motivação para a realização do presente trabalho foi baseado nos seguintes aspectos:

- Importância do assunto para a sociedade brasileira e mundial, devido ao elevado número de pessoas que irão os estádios de futebol durante o mundial de futebol de 2014, campeonatos posteriores e possíveis eventos de entretenimento.
- O próprio interesse do autor desta tese pelos estudos referentes ao comportamento de pessoas em situação de emergência, particularmente no processo de evacuação de locais de elevada aglomeração de público. Pois embora se possa aproveitar os dados de estudos feitos noutros países, existem fatores característicos de cada região que podem condicionar a validade das medidas definidas para criação das melhores condições de segurança. Por

exemplo, familiaridade das pessoas (público) com exercícios de simulação, opções organizacionais, cultura e formação das pessoas. (Pinto, 2008)

- A necessidade de uma análise elaborada do sistema de evacuação dos estádios destinados a jogos da copa do mundo ou não, servindo com ferramenta de apoio aos órgãos oficiais de segurança na elaboração de normas prescritivas e planos de emergência.

Entretanto, realizar simulacros de evacuação à escala real é um processo difícil. Os custos de realizar exercício de evacuação de pessoas não são facilmente estimados e a interpretação dos dados adquiridos podem ser de difícil interpretação, fazendo com que a simulação de evacuação de multidões por computador se tenha um meio preferencial para a realização das mesmas. (Carneiro, 2012).

Diante deste cenário, Steinberg (2005) faz referência para a falta de responsabilidade por parte de engenheiros, construtores e órgãos públicos pela negligência no dimensionamento de saídas de emergência. Este autor sugere, que a contratação de empresas especializadas em dinâmica de multidões é mais viável que enfrentar uma série de processos e o peso da culpa pela perda de vidas num acidente. Deixando clara sua opinião favorável a análise de desempenho em todos os que tratassem de grande concentração de multidões.

Neste sentido, pretende-se realizar um estudo das condições de evacuação de pessoas do estádio Arena Castelão, em Fortaleza (Ceará), no Brasil, popularmente designado por Castelão, face ao cumprimento das normas prescritivas portuguesas e internacionais em confronto com uma abordagem baseada no desempenho, através de métodos teóricos e computacionais.

1.2 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é comparar a análise prescritiva do dimensionamento das saídas de emergência realizadas no Estádio Arena Castelão com os resultados obtidos através de uma análise baseada no desempenho. Além disso pretende-se concretizar os seguintes pontos:

- Descrever as normas portuguesas e internacionais referentes ao dimensionamento de saídas de emergência em estádios de futebol.
- Analisar de forma prescritiva, a geometria do estádio Arena Castelão;

- Aplicar modelação de multidões ao Estádio Arena Castelão.
- Aplicar simulação computacional de evacuação com FDS+EVAC ao Estádio Arena Castelão.

1.3 Estrutura da tese

O presente trabalho encontra-se organizado da seguinte forma:

O primeiro capítulo, refere-se à motivação, objetivos e estrutura da tese.

No segundo capítulo é abordado o comportamento de pessoas em situação de emergência.

No terceiro capítulo é apresentada e analisada a regulamentação de segurança contra incêndios em Portugal e em vários países no que diz respeito aos critérios das saídas de emergência.

No quarto capítulo é contextualizada a simulação computacional sobre um cenário de evacuação do efetivo a estudar.

No quinto capítulo serão apresentados os resultados do caso de estudo enumerado no início da tese.

Por fim, no sexto capítulo, serão apresentadas as conclusões obtidas com a realização deste trabalho e serão apresentadas de desenvolvimentos futuros para o dimensionamento de saídas de emergência de estádios de futebol.

2. COMPORTAMENTO DE PESSOAS EM EMERGÊNCIA

Em “The Crowd”, um clássico publicado por Le Bon (1960) foi um dos primeiros estudos relacionados a ideia de grupo. Segundo o autor, a palavra multidão está relacionada com o sentido de agrupamento de indivíduos, de qualquer nacionalidade, profissão, ou sexo, independentemente da motivação que os juntou. Porém do ponto de vista da psicologia, multidão refere-se a um aglomerado de pessoas que sob diversas circunstâncias assumem comportamentos diferentes de quando se encontram de forma individual. Ou seja, os desejos e atitudes tomam uma direção comum, e prevalecendo o sentimento do grupo sobre o individual.

Afirmando ainda, que percebe-se que uma multidão é guiada quase que exclusivamente por motivos inconsistentes, se aproximando dos seres primitivos. O indivíduo passa a se movimentar de acordo com a excitação do ambiente que o envolve, sendo escravo dos impulsos que recebe. O indivíduo na multidão recebe excitações do ambiente e comporta-se de forma diferente do que se estivesse isolado, agindo de forma impulsiva e imperativa, privilegiando o interesse do grupo diante do individual.

Toda a análise de Le Bon está constituída no sentido de mostrar o caráter irracional, impulsiva e regressiva da multidão.

Segundo Steinberg (2005), para o estudo das multidões existem diversos programas computacionais que simulam comportamento de pessoas em situação de emergência, mas a implementação do fator psicológico e sua aproximação à realidade através de variáveis psicológicas dos indivíduos envolvidos é o diferencial entre eles, a busca pelo que chama de eventos sociais:

- O impacto de um indivíduo sobre o outro;
- O impacto de um grupo sobre os seus membros;
- O impacto de um indivíduo sobre o grupo;
- O impacto de um grupo sobre outro.

Segundo Araújo (2013) a percepção de uma situação de risco pode passar por um conjunto de julgamentos iniciais que conduz a uma série de dúvidas. Seito et al. (2008) acrescenta ainda que normalmente, as pessoas demoram a reagir a uma situação de incêndio ou emergência, como se tivessem paralisadas nos primeiros minutos, não acreditando que estão envolvidas numa situação grave. Além disso, o autor acrescenta que enquanto as pessoas não tomam conhecimento real do cenário em que estão inseridas a sua instabilidade emocional tende a aumentar.

Segundo Araújo (2013) ao contrário do que se pensa é raro a ocorrência de pânico em incêndios, sendo este de grande incidência em eventos desportivos, religiosos ou qualquer outro com elevada densidade ocupacional e reduzido número de saídas. Nestes casos as pessoas tendem seus instintos e tendem a utilizar os acessos que estão acostumados a utilizar, muitas vezes optando por uma saída mais distante em virtude de uma maior familiaridade com a mesma.

O autor destaca seis fatores sequenciais precedentes ao pânico em situação de emergência:

- Reconhecimento: identificação da situação de perigo, normalmente levado a cabo por experiências prévias do indivíduo;
- Validação: tentativa de avaliar a gravidade da situação;
- Definição: conhecimento de informação sobre o perigo ao qual o indivíduo está exposto;
- Avaliação: conjunto de atividades cognitivas e psicológicas necessárias à resposta de ameaça;
- Execução: conjunto de atividades que indivíduo fará uso para manter a sua sobrevivência, previamente estabelecidas durante o processo de avaliação;
- Reavaliação: é o processo mais stressante para o indivíduo, em especial quando a sua última tentativa de evacuação falhou e as subsequentes podem levar, à perda da coordenação motora e à sua frustração, tornando as decisões cada vez menos racionais provocando o pânico.

2.1 Violência no futebol

A violência é um comportamento que causa dano a outra pessoa, ser vivo ou objeto. Nega-se autonomia, integridade física ou psicológica e a vida de outro. É o uso excessivo de força, além do necessário ou esperado. O termo deriva do latim violentia (que por sua vez o amplo,

é qualquer comportamento ou conjunto de deriva de vis, força, vigor); aplicação de força, vigor, contra qualquer coisa ou ente. (Wikipédia, 2014)

Segundo Grigorovski (2007), a violência no futebol não é um fenômeno próprio do desporto, mas uma representação do que ocorre na sociedade como um todo, muito embora não sejam raros os exemplos de manifestações violentas em partidas nos campeonatos um pouco por todo o mundo.

Um exemplo de violência no futebol são os hooligans, grupos de adeptos de eventos desportivos que existem na Europa, mais precisamente nos países como Inglaterra, República Checa, Polónia, Alemanha e Croácia e que sentem prazer em praticar atos de violência, usando o futebol como pretexto. Alguns grupos hooligans além da paixão pelo clube, defendem ideologias políticas e religiosas.

“Eu não acho que as pessoas que perdem controlo das suas emoções. Elas estavam claramente no controlo de suas emoções e da sua própria insegurança física, quero dizer: você está sendo esmagado, você começando a temer pela sua própria vida e ainda assim tentavam controlar ou moderar suas emoções para ajudar a tentar remediar a situação e ajudar os outros que estavam claramente lutando”, relato de um sobrevivente da tragédia de Hillsborough. (Araújo, 2013).



Figura 2 - Adeptos presos no alambrado durante a tragédia de Hillsborough, (UOL, 2014).

Grigorovski (2007) afirma que muitos atos de violência e racismo ocorreram nos estádios, e destaca o cenário europeu neste tipo de ocorrência.

Durante um jogo de futebol as claques de cada equipa adeptos pensam de forma parecida, o desejo de vitória das suas equipas. No final da partida, a claque da equipa que perdeu o jogo de futebol fica frustrada e uma provocação por parte da claque do clube rival, pode gerar uma situação de tensão e levar a uma reação imediata de violência e brutalidade. (Araújo, 2013)

Destacam-se por ordem cronológica os casos de violência já ocorridos no passado.

2.2 Tragédias no Futebol

2.2.1 No Mundo

- 1946: 33 mortos durante o jogo entre Golton Wanderers e Wolverhampton, pela Copa da Inglaterra;
- 1964: 300 mortos no jogo entre Peru e Argentina, no Estádio Nacional de Lima;
- 1968: No clássico River Plate x Boca Juniors, em Buenos Aires, morrem 73 torcedores, após sinais de incêndio numa bancada;
- 1982: Morrem 60 pessoas no jogo Spartak e Haarlem, em Moscou;
- 1985: Juventus e Liverpool disputariam o título europeu de clubes, no estádio Heysel, em Bruxelas. Os hooligans transformam a paixão em fúria: 38 mortos;



Figura 3 - Os hooligans durante agressão, (Grigorovski, 2007).

- 1971: 66 pessoas morreram e outras 150 ficaram feridas no estádio do Glasgow Rangers, quando centenas de adeptos coincidiram nas portas de acesso, depois da equipa da casa marcar um golo nos últimos minutos contra o Celtic;
- 1985: 52 mortos num incêndio nas bancadas do estádio de Bradford, na Inglaterra;

- 1989: no Estádio de Hillsborough, em Sheffield, Inglaterra, num jogo entre Liverpool x Nottingham Forest. Nesta partida, 96 adeptos do Liverpool morreram espezinhados e centenas ficaram feridos devido à sobrelotação do estádio e ao erro da polícia em abrir os portões para adeptos sem ingressos;
- 1996: 84 mortos e 150 feridos num jogo realizado entre Guatemala e Costa Rica, estádio com uma capacidade para 45 mil pessoas e foram vendidos 60 mil ingressos. As vítimas foram esmagadas sobre a vedação das antes do jogo começar;
- 1998: 93 mortos e 100 feridos em jogo entre Muktijodha e Janakpur. O facto ocorreu após chuva de granizo, a multidão correu para se proteger e as pessoas foram espezinhadas e esmagadas contra os portões;
- 2001: 126 mortos e 90 feridos durante uma partida entre Hearts of Oak e Kumasi Ashanti Kotoko, para o campeonato ganês. A tragédia ocorreu depois de uma luta entre adepto e enquanto todas as saídas estavam bloqueadas;
- 2006: 100 pessoas foram feridas e outras 45 foram presas em Barcelona durante a comemoração pela conquista da Liga dos Campeões.

2.2.2 No Brasil

- 1992: Num jogo de futebol entre o Flamengo e o Botafogo três pessoas morreram e mais de 100 ficaram feridos devido à cedência da vedação da bancada;
- 1995: Morreu um adepto com uma paulada na cabeça devido aos confrontos entre as claques num jogo entre o Palmeiras e o São Paulo;
- 2000: Aos 23 minutos do primeiro tempo do jogo entre Vasco e do São Caetano, no estádio de São Januário, cerca de 150 pessoas ficaram feridas, três em estado grave, devido à cedência da vedação da bancada. A figura 4 mostra o momentos após o ocorrido;



Figura 4 – Cedência da vedação: momento dramático, (Grigorovski, 2007).

- 2007: Um adepto do internacional é espancado em confrontos de claque, em Dom Pedrito, no interior do Rio Grande do Sul. Suspeita-se que, além de desavenças futebolísticas, o crime também tenha motivações racistas, já que a vítima era negra e os agressores, brancos e de classe média;
- 2007: Em um jogo entre Bahia e Vila a estrutura do estádio Fonte Nova desabou e adepto caíram de uma altura de 20 metros, 7 pessoas morreram.

2.3 Pânico

Com base em estudos empíricos, Quarantelli (1957) entendia que pânico é uma disfunção comportamental de fuga da realidade, gerada por motivo fortuito, mas envolvendo perigo eminente. O autor nega o conceito irracional em situação de pânico, pois neste estado o indivíduo consegue raciocinar e estabelecer metas. Seguindo a linha de pensamento do autor o pânico é uma aberração comportamental que só ocorre pela possibilidade de evacuação. A ausência da expectativa de evacuação não gera por si só a ocorrência do pânico, como por exemplo no caso de um submarino que se está a afundar e os tripulantes não entram em pânico porque não conseguem visualizar meios para se libertarem dessa ameaça

A teoria de Smelser (1963) sugere que as pessoas se unem em movimentos sociais depois de experimentar um grau de sofrimento. Definindo pânico como sendo um delírio coletivo baseado numa crença histórica.

Na sua obra literária, Brown (1965) fez a sua maior contribuição para o estudo de evacuação em pânico com a explicação sobre níveis de aceitação de risco em tomadas de decisão em grupo. A base da teoria é que uma gama de decisões frente a um risco moderado, individualmente aceitável, que exige uma discussão em grupo. Ou seja, quando o grupo atinge

um certo número de pessoas, a tomada de decisão torna-se mais complexa e o processo de aceitação do risco é mais lento e exigente.

Autores como Glance e Huberman (1994), sugerem que é mais fácil executar a atividade de fuga em grupos conhecidos e com possibilidades de interações futuras, como em um escritório, do que num estádio de futebol onde a maioria das pessoas não se conhecem e não se relacionarão em eventos futuras.

O pânico pode ser potencializado pelos seguintes fatores:

- Ausência de informação sobre a gravidade da situação;
- Agressão física exercida pelo meio;
- Detecção do incêndio e/ou emergência em estado avançado;
- Conceção incorreta dos caminhos de evacuação;
- Estrangulamentos nos caminhos de evacuação;
- Falta de sinalização emergência;
- Falta de iluminação de emergência;
- Falta de meios de controlo de fumo;
- Falta de locais de refúgio e sistemas de intercomunicação com os ocupantes.

2.4 Estudos Teóricos e Experimentais Sobre Pânico em Multidões

Mintz (1951) realizou estudos que foram publicados o *The Journal of Abnormal and Social Psychology*, onde mostra que as pessoas mudam de comportamento de acordo com as suas expectativas em relação ao comportamento dos outros, como em situação de desafio. O pesquisador mostrou que o comportamento não cooperativo em situações de pânico provém da percepção das pessoas a respeito da situação da sua expectativa do que poderá ocorrer. Onde constantemente os participantes interagem entre si e mudam de opinião sobre o que fazer, que direção tomar ou mesmo a velocidade adotada. Com base nisto percebe-se a importância da implementação do processo interativo na modelação de multidões;

Estudos de Pauls (1980) e Predtechenskii; Milinskii (1978) concluíram que a taxa de fluxo diminui significativamente em densidades superiores a 1 pessoa/m²;

Kelly e Condry e Dahlke e Hill (1965), publicaram um artigo no *The Journal Experimental Social Psychology* que tratava da influência do tamanho do grupo na fuga. Segundo o artigo,

o tamanho do grupo era fator determinante no tempo de evacuação. Quanto maior o grupo, mais difícil o processo de toma de decisão e maior o tempo de fuga;

Keating (1982) publicou um periódico no *Fire Journal*, indo totalmente contra o senso comum, afirmando que a maioria das vítimas das grandes catástrofes envolvendo fogo não entram em pânico, elas ajudam-se umas às outras e são muito solícitas;

Jhonson (1987) defende que as pessoas que se encontram numa zona mais posterior de uma multidão não conseguem ver o que está acontecendo a sua frente. Neste sentido, elas empurram-se uma às outras, acabando por esmagar as pessoas que se encontram à sua frente. Este tipo de comportamento pode ser exemplificado no desastre do concerto “The Who” em 1979, onde morreram 11 pessoas esmagadas em Cincinnati;

Jhonson (1988) realizou estudos sobre pessoas em situação de pânico, como um incêndio que ocorreu em uma casa noturna e a correria em um concerto de rock, onde morreram 160 e 11 pessoas respectivamente. A maioria das pessoas não apresentou comportamento instintivo animal, predominando o comportamento cooperativo ao invés do egoísta;

Canter (1990) editou o livro *Fires and Human Behaviour*. Dentre outros, neste estava comentado o acidente no estádio de Bradford;

Jacobs (1990) analisa o ocorrido em Hillsborough Stadium. Trazendo informações sobre situações de pânico em estádios. A linha de pesquisa era voltada para responsabilidade das autoridades sobre os desastres, plano de contenção inadequado e planejamento;

Elliot (1993) afirma que os fatores dos desastres envolvendo multidões, têm causas mais profundas que falhas em projeto e, respetivo, dimensionamento. O autor afirma que as ocorrências são produto de uma desorganização a nível administrativo superior da indústria do futebol, seguida de fraca administração dos estádios e das massas populacionais que o utilizam;

Fahy (1997) analisou as vítimas de uma explosão na parte inferior da Praça de World Trade Center em New York, no dia 26 de Fevereiro de 1993. Foi enviado um questionário a 1598 ocupantes, obtendo um total de 406 contabilizados na pesquisa. O resultado do estudo demonstrou que os responsáveis pelos pisos precisam ter mais formação para serem capazes de tomar decisões quando desconhecem o que se passa e nem recebem informações suficientes dos postos de segurança. A formação não deve se limitar aos membros da equipe de segurança, mas sim a todos os ocupantes da edificação por forma a terem algum conhecimento de como proceder em caso de sinistro;

Shields (2000) com base na análise de vários exercícios de evacuação em quatro hipermercados da Inglaterra, verificou que em caso de evacuação 28 a 50% dos clientes procuram os seus acompanhantes e, só saem do edifício, na condição de já estarem junto das pessoas com que chegaram ao edifício, fato que não prejudicou a evacuação devido às ações realizadas pelos funcionários. Verificou também, que as taxas de ocupação recomendadas na legislação eram conservativas para o uso corrente, mas correspondentes aos horários de pico. O resultado do simulacro indicou que o investimento na formação dos funcionários tem benefícios diretos na segurança, e ficou claro que estes podem gerir uma situação de emergência e controlar o processo de evacuação.

Saloma et al. (2003) comandaram investigações numéricas sobre evacuações de pessoas em situações de pânico. Este estudo revelou vários e interessantes cenários de movimentação dinâmicos, entre eles a formação de arco nas saídas, filas auto organizadas e comportamento em escala livre;

Proulx (2003) através da análise de inquéritos feitos aos ocupantes do Edifício Cook County Administration, que sofreu incêndio em 17 de Outubro de 2003, identificou três fatores principais para perda de vidas nesse incêndio: a natureza das mensagens de alarme para evacuar prédio, a impossibilidade de abrir as escadas no sentido de evacuação e as atividades de combate a incêndios;

Zhao et al. (2009) comparou os critérios de dimensionamento de caminhos alternativos para saídas de emergência em locais de grandes dimensões. Com base nas legislações do Reino Unido, Estados Unidos e Hong Kong, verificou que divergências nos meios alternativos utilizados, mas todos eles direcionavam para um princípio de afastamento entre os caminhos de evacuação. O autor sugere ainda um método dimensionamento usando critérios baseados no desempenho.

Segundo Leça Coelho (2006):

- Bickman, Edelman e McDaniels, concluíram em seus estudos que o ambiente tem influência significativa no comportamento de pessoas envolvidas em um incêndio. Ao analisarem pessoas que passaram pela situação de incêndio, concluíram que as ações prioritárias das pessoas dependem de fatores como gravidade do incêndio, aptidões das pessoas e distância a percorrer para acionar um alarme ou saída;

- Sime, com base na informação adquirida de diversos incêndios em um período de 3 anos, desenvolveu uma metodologia de análise das ações de seus ocupantes e verificou que existem

dois tipos de comportamento em emergência: o pânico e o aflitivo, embora o primeiro seja raro pode ser potencializado caso as medidas de segurança forem desrespeitadas. Concluiu ainda, que a decisão de um ocupante seguir ou não numa determinada direção com fumo é influenciada pela necessidade de obter mais informação sobre o incêndio, constatando que os ocupantes percorrem normalmente os caminhos que estão familiarizados. Em outro estudo Sime, constatou que 70% dos ocupantes procuram as saídas que estão dentro de seu campo de visão;

- Horiuchi, conduziu um grupo de bombeiros de olhos vendados para um espaço que eles não conheciam dotado de várias saídas. Concluiu que os mesmos deslocaram-se para as saídas mais visíveis mesmo estas sendo mais distantes e em menor tamanho que as indicadas pela sinalização. Ou seja, constatou que a visibilidade tinha maior predominância que o fluxo e a distância a percorrer na escolha das saídas;

- Weismam, através de um inquérito feito a um grupo de universitários sobre problemas de orientação, verificou que 14% dos inquiridos se sentiam perdidos em edifícios de grande dimensão e 9% tinham problemas em locais de arquitetura complexa;

- Nelson e Maclenman, constataram que é mais difícil a elaboração de uma estratégia de evacuação nos casos em que existe um número reduzido de pessoas quando se encontram num ambiente desconhecido, identificando várias situações que podem gerar problemas de orientação;

- Pasini chegou a conclusão que edifícios de grandes dimensões, com espaços complexos, podem originar problemas de orientação.

2.5 Fenómenos da Evacuação de Multidões

O comportamento individualizado do ser humano em si já é algo bastante complexo, conforme seu livre arbítrio pode interferir na escolha da rota de fuga, no tempo de evacuação e na eficiência do processo de abandono. Juntando a isto as interações interpessoais fica ainda mais complicado, ou seja, considerar o movimento em grupo. (Yang *et al.*, 2005)

Simular a influência de fatores psicológicos no comportamento humano em situações normais não é simples, simular a influência desses mesmos fatores em situação de emergência, torna-se numa tarefa ainda mais árdua. Além disso, existem poucos dados recolhidos em situações de evacuação reais. (Yang *et al.*, 2005). Na informação escrita mais abaixo, é possível verificar os possíveis comportamentos resultantes da interação entre multidões:

- Fenômeno de ir com a multidão: O ocupante deixa de seguir seu raciocínio para acompanhar a massa. Durante a evacuação as pessoas perdem a calma e a noção de localização das saídas e seguem as outras confiando que estas conhecem a saída. (Yang et al., 2005), ver figura 5;



Figura 5 – Fenómeno de acompanhar a multidão, (Araújo, 2013).

- Fenómeno de reunião: numa perspectiva de prevenção, as pessoas tendem a permanecer próximas à ao maior grupo de pessoas em caso de emergência, podendo gerar um recolhimento das pessoas no interior do edifício. O facto das pessoas se ajudarem mutuamente em emergência é conhecido como efeito de grupo (Zheng et al., 2009);
- Retrocesso: é o facto de voltar para o interior do edifício para recolher pertences, reencontrar parentes e/ou ajudar outras pessoas (Yang et al., 2005);
- Parentesco: os familiares tendem a reunir-se durante a evacuação de emergência ou retroceder para salvaguardar um membro da família (Yang et al., 2005);
- Efeito de Arco: fenómeno reproduzido nos atravessamentos de portas/saídas, em que a afluência simultânea de um conjunto de pessoas tende a formar um gargalo de garrafa junto das saídas. (Wei-Guo et al., 2006);

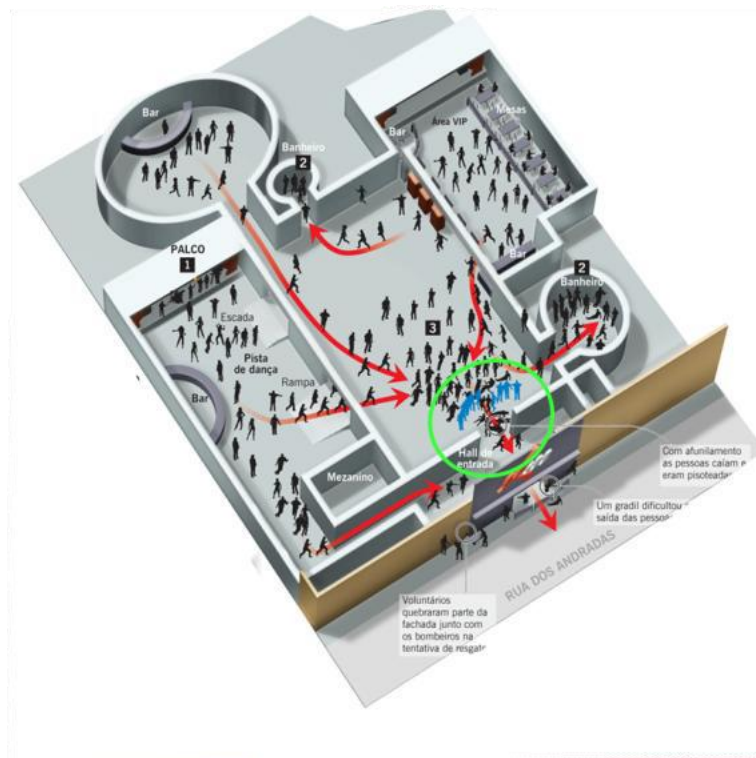


Figura 6 - Cenário de convergência de pessoas e formação do “ARCO” Boate Kiss, (Araújo, 2013).

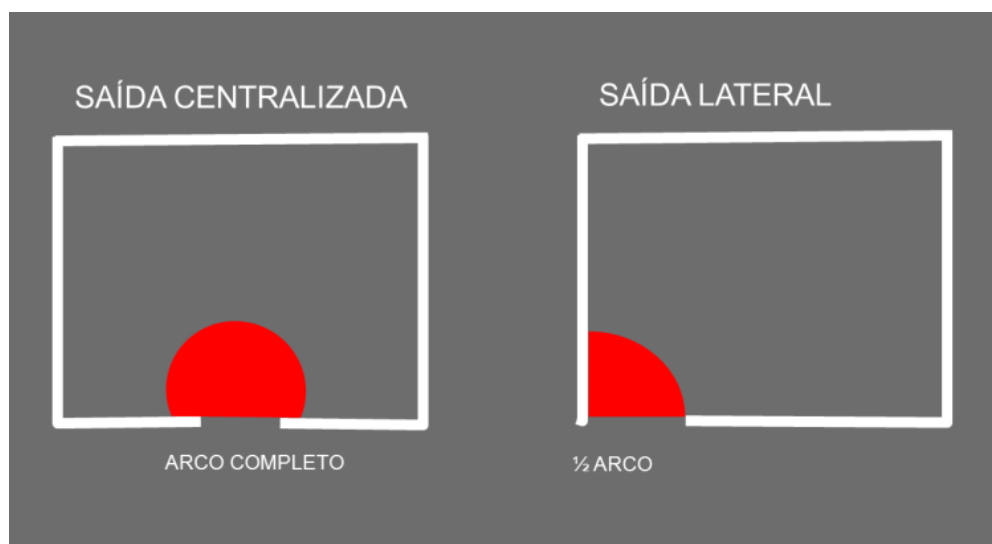


Figura 7 - Tipos de Arco, (Araújo, 2013).

- Mais rápido é mais lento: quanto mais rápido as pessoas tentam se mover, mas lenta evacuação se pode tornar (Zheng *et al.*, 2009);

- Aventureiro: a maioria das pessoas tende a utilizar saídas com as quais já estão familiarizadas quando pretendem a escolher uma saída de evacuação (Zheng *et al.*, 2009);

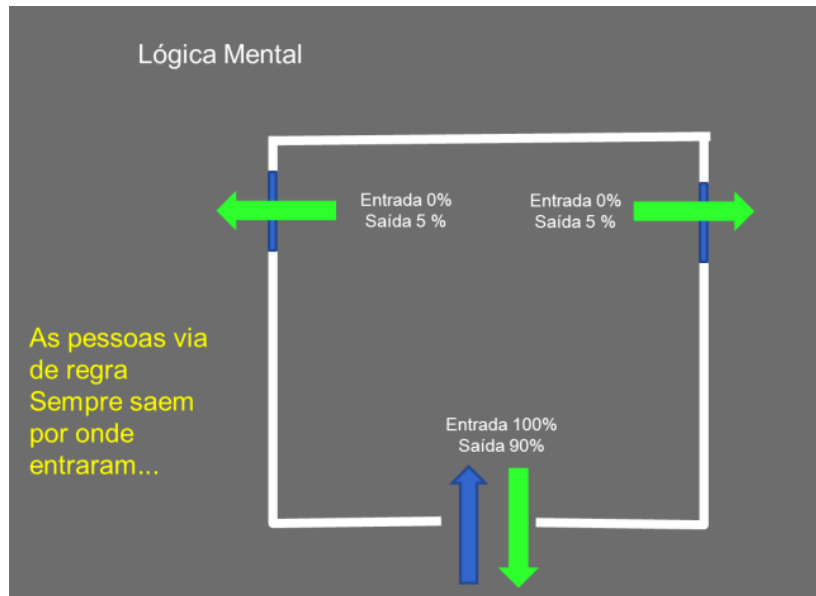


Figura 8 - Escolhas preferenciais das saídas de evacuação (Araújo, 2013).

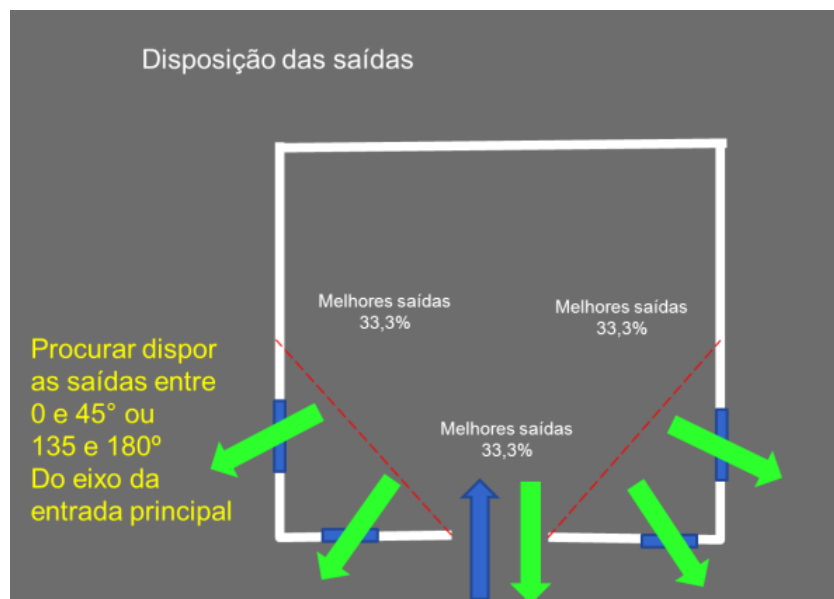


Figura 9 - Distribuição ideal das saídas de evacuação (Araújo, 2013).

- Pânico: reação psicológica na qual o indivíduo fica em estado anormal de ansiedade ou estado comportamental de aceitação ao estímulo de perigo. Nos piores casos, os indivíduos podem perder os sentidos e comprometer a evacuação (Li-Jun *et al.*, 2009);



Figura 10 - Adeptos de futebol em pânico, (Helbing e Buzna, 2003).

2.6 Considerações Finais

A violência no futebol originou diversas tragédias no Brasil e pelo mundo fora, tragédias estas ocasionadas por diversas situações. Além das causas citadas, não pode ser desconsiderado o confronto entre claque, como a morte de um adepto após ser espancado por um simpatizante dos Riazor Blues, grupo radical do Desportivo La Corunã em Espanha e noutro caso similar ocorrido no território brasileiro com a morte de um adepto do Palmeiras pelo mesmo motivo em São Paulo (Grigorovski, 2007).

Sendo pelo motivo acima apresentado, ou por qualquer facto fortuito, quer ocorra no interior do estádio ou nas bancadas, a possibilidade de acontecer um acidente durante uma partida de futebol é real e associado a isso, há quase sempre uma necessidade de evacuação de pessoas em emergência e, possivelmente, de pânico.

No capítulo apresenta-se uma descrição da legislação de segurança contra incêndio e os critérios de dimensionamento que influenciam a elaboração de projetos em estádios de futebol

3. LEGISLAÇÃO DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO

A segurança contra incêndio é fator que se impõe durante todas as etapas envolvidas no processo construtivo e na utilização de um edifício desde o seu planejamento, projeto e construção até as fases de operação e manutenção. Em nenhuma dessas fases o problema do incêndio pode ser menosprezado, sob o risco de serem induzidas inconveniências funcionais, custos excessivos ou níveis inadequados de segurança. (Berto, 1990).

Para que ocorra de forma adequada Fitzgeralds (1997) recomenda que a proteção contra incêndios no projeto de edificações seja organizada através de seis tipos de medidas:

- Evitar o início do fogo;
- Evitar o crescimento do fogo e sua propagação;
- Ter sistemas de detecção e alarme;
- Ter sistemas de combate a incêndios;
- Ter compartimentações para o confinamento do fogo e,
- Ter caminhos de saída para a desocupação com segurança da edificação.

De uma forma geral pode observar-se que as medidas de segurança visam proteger o patrimônio e vidas humanas existentes na edificação. Desta feita, existem diversos mecanismos de segurança para salvaguardar o conteúdo da edificação de sinistros que possam ocorrer. O Decreto-Lei 220/2008, de 12 de novembro do Ministério da Administração Interna, preconiza que a introdução de um novo regime jurídico recomenda se proceda à avaliação, em tempo oportuno, do seu impacto na efetiva redução do número de ocorrências, das vítimas mortais, dos feridos, dos prejuízos materiais, dos danos patrimoniais, ambientais e de natureza social, decorrentes dos incêndios urbanos e industriais que venham a verificar.

As medidas de segurança contra incêndio a serem aplicadas em uma edificação segundo Brentano (2007) podem ser divididas em duas classes, proteção passiva e proteção ativa.

Meios de proteção passiva têm como objetivo minimizar as possibilidades de eclosão de um incêndio e reduzir a possibilidade de propagação, sendo definidas pela NBR 14.432 (2001) como um conjunto de medidas incorporadas ao sistema construtivo do edifício que reage

passivamente ao desenvolvimento do incêndio, não estabelecendo condições propícias ao seu crescimento e propagação, garantindo a resistência ao fogo, facilitando a evacuação dos utentes e a aproximação e a entrada no edifício dos bombeiros para ações de combate ao incêndio. As medidas de proteção passiva são:

- Acesso para viaturas dos bombeiros;
- Separação entre edificações;
- Segurança estrutural das edificações;
- Compartimentação;
- Isolamento térmico;
- Controlo de materiais de acabamento;
- Saídas de emergência;
- Controlo de fumo;
- Corporação de bombeiros;
- Iluminação de emergência;
- Detecção e alarme de incêndio;
- Sinalização de emergência;
- Instalações de gás liquefeito de petróleo e gás natural;
- Sistema de proteção contra descargas atmosféricas.

Meios de proteção ativa são medidas que têm como finalidade facilitar o combate direto ao incêndio já iniciado e o controlo do mesmo até chegada dos bombeiros locais, sendo definidos pela NBR 14.432 (2001) como um tipo de proteção contra incêndio que é ativada manual ou automaticamente em resposta aos estímulos provocados pelo fogo, composta basicamente pelas instalações prediais de proteção contra incêndio. São medidas de proteção ativa:

- Sistema de hidrantes e mangotinhos (carretéis);
- Extintores;
- Chuveiros automáticos (sprinklers);
- Sistema fixo de resfriamento;
- Sistema fixo de espuma;
- Sistema fixo de gases.

Este trabalho está diretamente relacionado ao sistema de evacuação de pessoas em estádios, portanto só serão abordadas as prescrições legislativas referentes a este assunto. Ou seja normas relacionadas com:

- Saídas de emergência: caminho contínuo, devidamente protegido e sinalizado, proporcionado por portas, corredores, “hall’s”, passagens externas, balcões, vestíbulos, escadas, rampas, conexões entre túneis paralelos ou outros dispositivos de saída ou combinações desses, a ser percorrido pelo utilizador em caso de emergência, de qualquer ponto da edificação, recinto de evento ou túnel, até atingir a via pública ou espaço aberto (área de refúgio) com garantia de integridade física. (NBR 9077, 2001).
- Evacuação: movimento dos ocupantes de um edifício para zona de segurança, em caso de incêndio ou de outros acidentes, que deve ser ordenado e seguro (Coelho, 2010).
- Efetivo de público: número máximo estimado de pessoas que pode ocupar em simultâneo um dado espaço de um edifício ou recinto que recebe público, excluindo o número de funcionários e quaisquer outras pessoas que afetem o seu funcionamento (Decreto Lei 220/2008).

3.1 Análise Prescritivo x Análise de desempenho

A segurança contra incêndio pode ser analisada segundo duas abordagens diferentes, uma com parâmetros pré-definidos de dimensionamento e outra com resultados mínimos a serem alcançados, ou seja, pode ser dividida em abordagens prescritivas e em abordagens baseadas no desempenho.

A abordagem prescritiva adota critérios pré-estabelecidos nas normas para que seja desenvolvido um sistema de segurança contra incêndio e a abordagem baseada em desempenho estabelece objetivos a serem alcançados. Esta, por sua vez, favorece o uso de ferramentas computacionais, além de proporcionar melhor desenvolvimento da engenharia de segurança contra incêndio para estabelecimentos a partir de soluções específicas por cada projetista, desde que se comprove a eficiência das mesmas (Braga, 2010).

Segundo (Ono, 2010), apesar da engenharia de segurança contra incêndio ser considerada como um dos requisitos básicos no desenvolvimento do projeto, construção e manutenção das edificações, é pouco abordada nas disciplinas dos cursos de engenharia. Portanto, são raros os profissionais que consideram este fator na concepção do projeto desta natureza. Reforça-se ainda, que as legislações de uma forma geral são de caráter prescritivo e não apresentam a possibilidade de soluções alternativas.

Em Portugal adotam-se normas baseadas numa análise prescritiva, porém há uma tendência mundial para a adoção de normas baseadas no desempenho, deixando ao projetista a opção de encontrar as soluções mais adequadas para cada caso, se quer, ou não, socorrer-se das simulações numéricas ou qualquer outra ferramenta da engenharia de segurança contra incêndio. Exemplos do que foi acabado de mencionar-se, são os casos dos países como o Japão, Canadá, Nova Zelândia e Inglaterra. (Vila Real, 2003). Fato confirmado por Hadjisophocleous e Benichou (2000).

Segundo (Braga, 2010), Brasil adota atualmente normas prescritivas no dimensionamento de projetos de segurança contra incêndio, no entanto já se encontra numa fase evolutiva no sentido de implementarem normas baseadas no desempenho, acompanhando, assim, a tendência a implementação de legislações baseadas em desempenho nos códigos tradicionais prescritivos. Este facto é confirmado por Cabrita Neves (2001 apud Vila Real, 2003), ao afirmar que, a nível internacional, a regulamentação de segurança contra incêndio em edifícios tem evoluído no sentido de se libertar das exigências de carácter prescritivo, passando a basear-se mais no desempenho dos elementos da construção. Esta será a via que permitirá tornar a segurança contra incêndio mais racional, eficaz e mais económica, dando abertura à utilização alternativa da engenharia de segurança contra incêndio.

Tavares, Silva e Duarte (2002), apresentam divergências nas características entre as duas abordagens da legislação, nomeadamente:

Prescritivas

Vantagens:

- Análise objetiva através de parâmetros estabelecidos nas normas;
- Não há necessidade de uma análise aprofundada (específica).

Desvantagens:

- Legislações com estruturas complexas;
- Dificuldade de elaborar projetos seguros, a baixo custo;
- Pouca flexibilidade à inovação;
- É aceite apenas uma solução para comprovação da segurança.

Baseadas em desempenho

Vantagens:

- Objetivos de segurança definidos, possibilitando aplicação da engenharia de segurança contra incêndio.
- Flexibilidade à inovação.
- Possibilidade elaborar projetos seguros a baixo custo.
- Introdução de novas tecnologias no mercado.

Desvantagens:

- Análise e avaliação específica e mais criteriosa, exige conhecimento específico.
- Dificuldade em definir critérios de desempenho.
- Há necessidade de qualificação aprofundada (específica), investimento em formação.
- Dificuldades na validação das metodologias usadas na quantificação.

É difícil de estabelecer uma regra geral para utilização de análise baseada no desempenho, porém Hadjisophocleous e Benichou (2000) sugerem quatro requisitos de desempenho:

- Garantia da evacuação segura dos ocupantes;
- Garantia de segurança para os bombeiros;
- Prevenção da propagação do incêndio para edificações vizinhas e,
- Salvaguarda do meio ambiente dos efeitos adversos do fogo.

Pannoni (2008), indica que os meios usados geralmente para estimar o desempenho da edificação, em situação de incêndio, em concordância com os critérios de desempenho são os modelos computacionais. Este estudo é baseado na garantia de abandono dos ocupantes em emergência e faz uso, baseado em Pannoni (2008), dos modelos computacionais para este procedimento. Portanto, pretende-se confrontar os critérios prescritivos com o uso de outras ferramentas para obtenção dos resultados do trabalho.

Em seguida serão definidas as normas que servirão de apoio para execução da análise prática em que se propõe este estudo e os critérios a serem utilizados.

3.2 Critérios de Dimensionamento de Saídas de Emergência

Segundo Ono (1996) o projeto de saídas de emergência deve considerar o movimento de evacuação, as características dos ocupantes e a tipologia da edificação.

As características dos ocupantes a serem consideradas são idade, sexo, suas condições físicas e mentais, bem como familiaridade com o edifício.

Para as características da cada tipologia dos edifícios, Ono (1996) sugere um cuidado especial com os edifícios de hospedagem (hoteleiros), pela possibilidade de detecção tardia do incêndio. Edifícios de diferentes tipologias e com níveis distintos de risco de incêndio, devem possuir sistemas de proteção contra incêndio projetados separadamente, possuindo rotas de evacuação independentes.

A autora estabelece também algumas regras básicas para o dimensionamento de saídas de emergência:

- Garantia de duplicidade de saídas, evitando becos sem saída nos edifícios;
- Composição de caminhos de evacuação claras e de fácil acesso, devendo estas serem bem dimensionadas, bem distribuídas em planta e não totalmente dependentes do sistema de sinalização e iluminação;
- Conceção de área protegidas para edifícios altos e/ ou com grandes extensões;
- Os caminhos de evacuação devem preferencialmente, coincidir com o caminho de percurso normal das pessoas;
- Deve ser consideradas, na conceção do projeto, as pessoas com necessidades especiais.

Segundo Costa (2009), existem três tipos movimentos relacionados com as características dos edifícios:

- Movimento horizontal: apresenta menos dificuldade, porém deve ser mantido a desobstrução dos caminhos de evacuação e com dimensões adequadas. A velocidade de movimento e fluxo de pessoas é alterada de acordo com a densidade do ambiente;
- Movimento vertical: escadas e rampas. Devem possuir iluminação suficiente e corrimões de forma a garantir o deslocamento seguro dos ocupantes. Neste movimento as velocidades são inferiores a do movimento horizontal, mas também se alteram de acordo com a densidade existente;

- Atravessamento de vãos: trata-se um movimento crítico e no seu dimensionamento deve ser garantida uma largura suficiente para assegurar o bom fluxo dos ocupantes e prever a possibilidade da formação de arcos.

Os regulamentos definem as características mínimas para dimensionamento de caminhos de evacuação, especificando parâmetros para os seguintes critérios: (Leça, 2001)

- Dimensões das saídas: é determinada normalmente pelo número de pessoas que vai fazer uso delas, considera-se a largura mínima de caminhos de evacuação como sendo aquela por meio da qual duas pessoas conseguem caminhar lado a lado. (Ono, 2010);
- Distâncias máximas a percorrer: comprimento a ser percorrido até atingir um local seguro, zona de segurança ou refúgio;
- Número de saídas: quantidade de vãos dispostos no caminho de evacuação que os ocupantes precisam transpor para atingir um local de segurança;
- Distâncias máximas entre escadas: comprimento compreendido entre duas escadas diferentes;
- Ventilação dos caminhos de evacuação;
- Iluminação de emergência: visa garantir a manutenção da visibilidade em todas as vias de evacuação e saídas de emergência. A figura 11 indica a relação da velocidade de evacuação com o nível de iluminação.

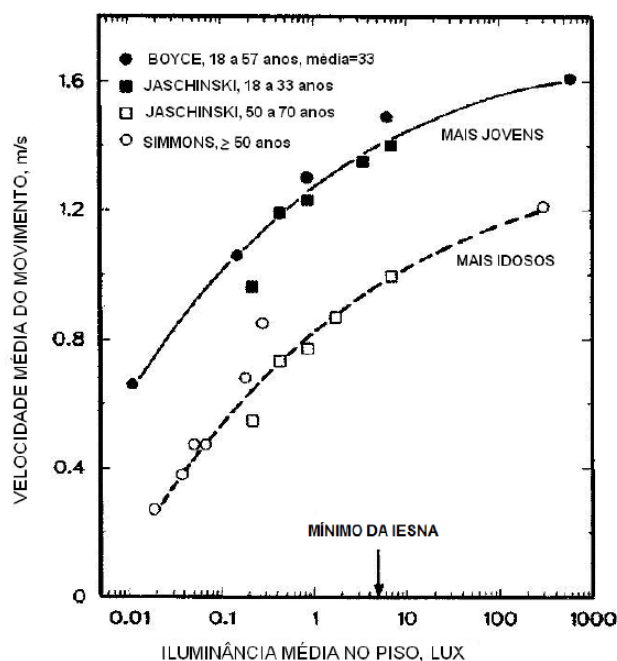


Figura 11 – Velocidade média de evacuação em função do nível de iluminação no piso da rota de evacuação (Ono, 2010).

Complementando o estabelecido por Leça (2010), Seito et. Al (2008), acrescenta velocidade, tempo de evacuação e densidade de ocupação.

- Densidade de ocupação: resultado da divisão entre o número de pessoas por unidade de área que ocupam.
- Velocidade: espaço percorrido por unidade de tempo. Fator dependente da capacidade física de cada indivíduo e da densidade de ocupação do local. O autor preconiza 76m/min como velocidade ideal para deslocamento com conforto e segurança.
- Tempo de evacuação: é o tempo de saída do local mais desfavorável até a rua ou ponto seguro.



Figura 12 - Tempo para abandono, (DiNenno et al, 2002).

- Sinalização de emergência: fator destinado a orientar os ocupantes que transitam nas rotas de fugas, servindo como componente de alívio e redutor da situação de pânico.

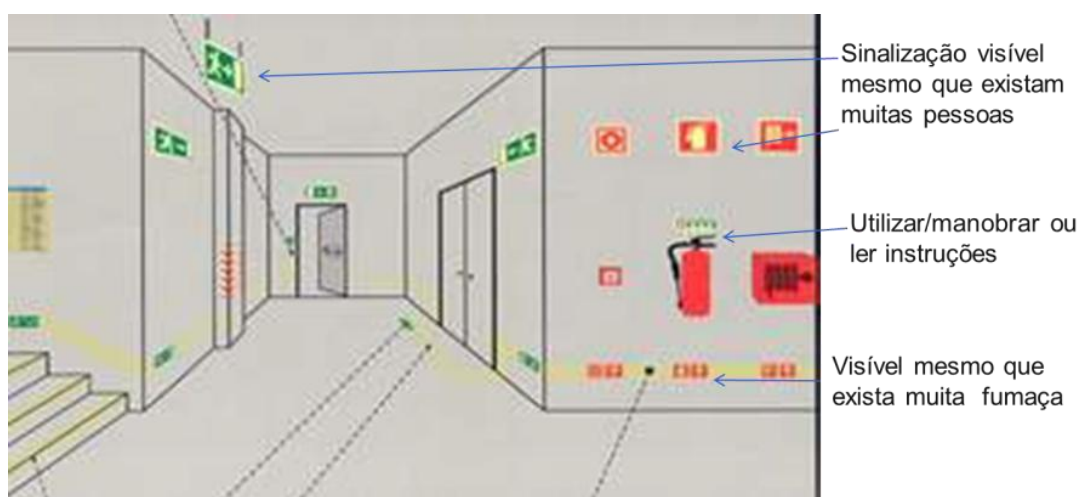


Figura 13 - Exemplo de sinalização (Sinalux, 2014).

3.3 Estados Unidos da América (EUA)

O Life Safety Code - NFPA 101:2009 é uma norma americana que trata detalhadamente de situações de risco para a população residente e/ou está de passagem em edifícios públicos e particulares, locais de reuniões, comércio, indústria, acessos e saídas, meios de evacuação, sistemas de proteção passiva e ativa contra incêndio etc.

Segundo Ono (2010), as primeiras edições deste código foi publicada com o título NFPA Building Exits Code (NFPA 101-T), por se tratar de um tema bastante evidenciado nesta publicação. A partir de 2003 passou a ser chamado oficialmente por Life Safety Code.

Embora seja um documento essencialmente prescritivo, o capítulo 5 desta norma prevê uma abordagem alternativa a regulamentação prescritiva. Ono (2010), afirma que para critérios de desempenho, o código determina que “qualquer ocupante não seja exposto à fonte de ignição em condições insustentáveis de forma instantânea ou cumulativa.” A autora afirma ainda que, mesmo com critérios de desempenho, a NFA 101 não abdica dos seguintes critérios relativos a saídas de emergência presentes no Capítulo 7, a saber:

- Mudança do nível de piso;
- Guarda-corpos;
- Portas;
- Escadas;
- Escadas do tipo marinho;
- Dispositivos alternativos;
- Capacidades das saídas;
- Impedimentos das saídas;
- Iluminação das rotas de fuga;
- Iluminação de emergência;
- Sinalização das rotas de fuga.

Segundo (Ono, 2010), a NFPA 101: 2009 estabelece os seguintes critérios de dimensionamento:

- Cálculo do efetivo: onde determina parâmetros de cálculo de acordo com a densidade de ocupação (m^2 / pessoa);
- Largura mínima de saídas: estabelecendo 915 mm (36 polegadas) como o menor valor para uma saída de emergência. O método de cálculo consiste num incremento de largura por pessoa;

- Número de saídas: Estabelece um mínimo de duas saídas, entre 500 e 1000 pessoas deve haver três saídas e em caso de mais de 1000 pessoas pelo menos quatro saídas;

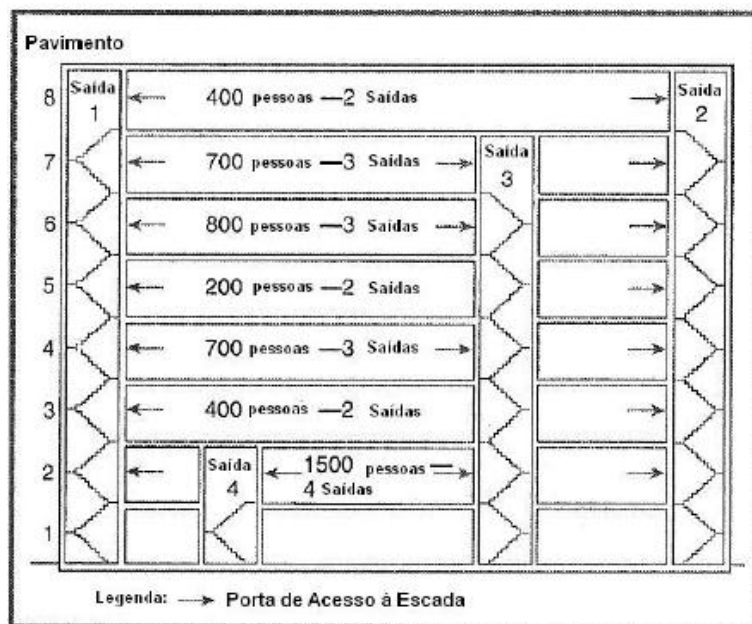


Figura 14 – Número mínimo de saídas para construções novas – NFPA 101. (Ono, 2010)

- Distribuição das saídas: deve haver sempre acesso a duas saídas, salvos os casos em que seja explicitamente dito que são exceções. Sendo também observado a distância máxima a percorrer;
- Distância a percorrer: distância a percorrer até pelo menos uma saída protegida.

Quadro 1 – Exemplo de valores de distância a percorrer pela NFPA 101. (Ono, 2010).

Uso	Distância a percorrer numa única direção, em metros		Profundidade de corredores sem saída (becos sem saída), em metros		Distância até pelo menos uma das saídas segura/ protegida, em metros	
	Sem chuveiros automáticos	Com chuveiros automáticos	Sem chuveiros automáticos	Com chuveiros automáticos	Sem chuveiros automáticos	Com chuveiros automáticos
Educacional	23	30	6,1	15	45	61
Residencial multifamiliar (apartamentos)	10,7	15	10,7	15	53	99
Comércio	23	30	6,1	15	45	76
Serviços	23	30	6,1	15	61	91

3.4 Reino Unido

O “*Guide to Safety at Sports Grounds*” (Green Guide), é um documento consultivo para o uso de pessoas habilitadas para tal. Trata-se de uma compilação técnica baseada em muitos anos de pesquisa e experiência de administração de segurança e projetos de estádios desportivos.

O “*Safety of Sports Grounds*”, define um recinto desportivo como: Um lugar onde desportos ou outras atividades competitivas são realizadas em locais abertos, sem coberturas, e onde as acomodações supridas por espetadores, constituído por estruturas artificiais ou de estruturas naturais artificialmente modificadas para este propósito.

Este guia aplica-se aos seguintes tipos de recintos desportivos: futebol americano, competições atléticas, eventos equestres, futebol, golfe, corridas, ténis, polo etc.

Neste guia estão os parâmetros utilizados pela Federação Internacional de Futebol - FIFA adequados aos estádios de futebol, portanto, à realização dos eventos relacionados Mundial de futebol mundial de Futebol.

A Nota Técnica de Referência na Prevenção Contra Incêndios e Pânico em Estádios e Áreas Afins teve a sua elaboração baseada nos princípios contidos neste documento, adotando de maneira mais objetiva os mesmos parâmetros de dimensionamento. Assim sendo, os critérios de dimensionamento referentes ao *Green Guide* serão considerados como os especificados através desta nota técnica, que será detalhada posteriormente.

3.5 Portugal

A legislação contra incêndio em edifícios portugueses é enquadrada pelo Decreto-Lei n.º 220/08, de 12 de Novembro, “Regime Jurídico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios e Recintos” (RJSCIE). Esta classifica as edificações em 12 Utilizações-tipo, estabelecendo critérios prescritivos de dimensionamento para 4 categorias de risco do edifício classificado e 12 utilizações tipo:

- UT I – Habitacionais.
- UT II – Estacionamentos.
- UT III – Administrativos.

- UT IV – Escolares.
- UT V – Hospitalares e lares de idosos.
- UT VI – Espetáculos e reuniões públicas.
- UT VII – Hoteleiros e restauração.
- UT VIII – Comerciais.
- UT IX – Desportivos e de lazer.
- UT X – Museus e galerias de arte.
- UT XI – Bibliotecas e arquivos.
- UT XII – Industriais, oficinas e armazéns.

Todos os locais dos edifícios e dos recintos são classificados quanto à natureza do risco que oferecem, sendo distribuídos em 6 grupos:

- Risco A: local que não apresenta riscos especiais, com público abaixo de 100 pessoas e 90% dos ocupantes não encontrem-se com limitações a mobilidade e percepção do alarme;
- Risco B: local acessível ao público ou ao pessoa afeto ao estabelecimento, com público maior que 100 pessoas, 90% dos ocupantes não encontrem-se com limitações a mobilidade e percepção do alarme e não se manipula produtos e/ou se pratica atividades que envolvam risco agravado de incêndio;
- Risco C: local de risco agravado de incêndio, devido às atividades nelas desenvolvidas, aos seus equipamentos ou materiais;
- Risco D: local com permanência de pessoas com mobilidade e percepção reduzidos (idosos, acamados e crianças);
- Risco E: Local destinado a dormida em que não se enquadram no risco D.
- Risco F: Local que possua meios e sistemas essenciais à continuidade de atividades sociais relevantes, nomeadamente os centros nevrálgicos de comunicação, comando e controlo.

As categorias de risco estabelecem os níveis de risco de incêndio de qualquer utilização-tipo de uma edificação e recinto, sendo distribuídas em 1^a, 2^a, 3^a e 4^a categorias. De acordo com diversos fatores, tais como:

- Altura;
- Existência de pisos abaixo do plano de referência.
- Área bruta;
- Espaço coberto ou aberto;

- Efetivo;
- Efetivo em locais D e E;
- Saída direta para o exterior;
- Carga de incêndio.

Tendo em conta as características dos meios de evacuação, temos segundo a legislação portuguesa os seguintes parâmetros:

- Cálculo da população: é o somatório do efetivo de todos os espaços suscetíveis a ocupação e é feito pelo produto da área pelos índices existentes na legislação, conforme indica o Quadro 2;

Quadro 2 – Índices de ocupação, (Dias, 2010).

ESPAÇOS	PESSOAS / m²
Balneários e vestiários utilizados por público	1
Balneários e vestiários exclusivos para funcionários	0,3
Bares (zona de consumo com lugares em pé)	2
Espaços de ensino não especializado	0,6
Espaços de exposição destinados à divulgação científica e técnica	0,35
Espaços reservados a lugares de pé de salas de conferências, de reunião e de espetáculos, de auditórios ou de locais de culto religioso	3
Gabinetes de consulta e bancos de urgência	0,3
Gabinetes de escritório	0,1
Locais de venda de baixa ocupação de público	0,2
Locais de venda localizados no piso do plano de referência, com área inferior ou igual a 300 m ²	0,5
Salas de convívio e refeitórios	1
Laboratórios	0,2
Salas de diagnóstico e terapêutica	0,2
Salas de escritório e secretárias	0,2
Salas de espera de exames e consultas	1
Salas de intervenção cirúrgica e de partos	0,1

ESPAÇOS	PESSOAS / m ²
Salas de leitura sem lugares fixos e bibliotecas	0,2
Salas de reunião, de estudo e de leitura sem lugares fixos, ou salas de estar	0,5
Zonas de actividades (Gimnodesportivos)	0,15
Lugares nao individualizados de salas de conferências, de reunião e de espetáculos, e locais de culto religioso	2
Lugares de pé numa única frente de salas de conferências, de reunião e de espetáculos, e locais de culto religioso	5

- Número de saídas e largura mínima de saídas: a legislação atribui valores mínimos para a largura das saídas, sendo o dimensionamento estabelecido a partir do critério de unidade de passagem (ver Figura 15 e Quadro 3) devem ser arredondadas para o inteiro mais próximo. O valor é adquirido a partir do efetivo calculado, salvo exceções previstas em norma;

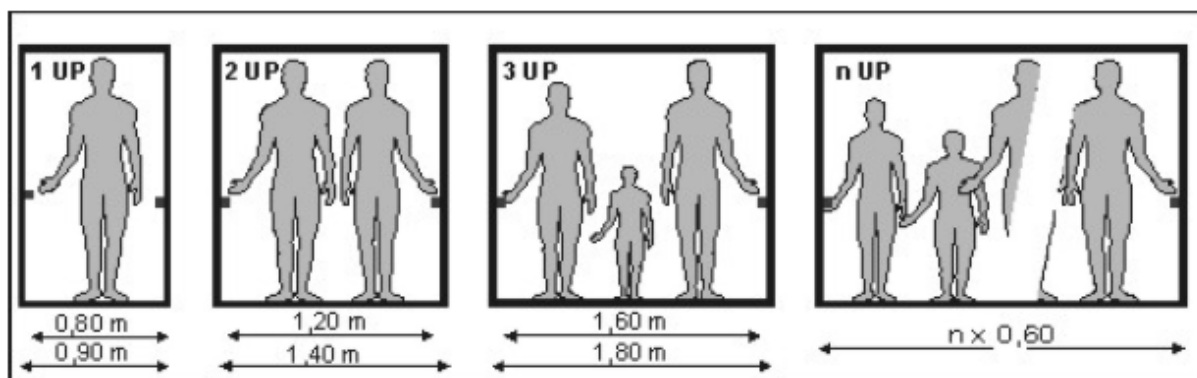


Figura 15 – Unidade de Passagem, (Dias, 2010).

Quadro 3 – Numero mínimo de saídas, largura mínima e vias em função de UP, (Dias, 2010)

Nº mínimo de saídas	1 a 50 pessoas	1 Saída
	51 a 1500 pessoas	1 Saída por cada 500 pessoas ou fração, mais uma
	1501 a 3000 pessoas	1 Saída por cada 500 pessoas ou fração
	Mais de 3000 pessoas	Nº condicionado pela distâncias a percorrer, mas com um mínimo de 6
Largura mínima das saídas e	1 a 50 pessoas	1 UP
	51 a 1500 pessoas	1 UP por cada 100 pessoas ou fração, mais uma

caminhos de evacuação	Mais de 500 pessoas	1 UP por cada 100 pessoas ou fração
------------------------------	---------------------	-------------------------------------

- Distribuição das saídas: saídas para diferentes espaços devem ser distintas e estar localizadas de modo a permitir a sua rápida evacuação, distribuindo efetivo entre elas. Devem ser distribuídas de forma a evitar o bloqueio simultâneo das mesmas;
- Distância a percorrer: devem garantir acesso rápido e seguro às saídas. São adquiridas através de consulta direta ao Quadro 4 existente na legislação portuguesa.

Quadro 4 – Distância máxima a percorrer, (Dias, 2010).

Nos locais	Em impasse	15 m
	Com saídas distintas	30 m / 45 m ^{a)}
Nas vias horizontais interiores	Em impasse	15 m ou 10 m ns vias que servem locais de risco D e E
	Com saídas distintas	30 m / 20 m ^{b)}
Nas vias horizontais exteriores	Em impasse	30 m ou 20 m nas vias que servem locais de risco D e E
	Com saídas distintas	60 m / 40 m ^{b)}

a) No caso de locais amplos cobertos com área superior a 800 m², no piso do plano de referência, com saídas diretas para o exterior;

b) Em pisos situados acima dos 28 m, em pisos abaixo do plano de referência e nas vias que servem locais de risco D.

Embora o Regime Jurídico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios e Recintos (RJSCIE) tenha uma abordagem prescritiva. 14º do referido regime jurídico, permite uma abordagem baseada no desempenho no caso em que as disposições previstas sejam desadequadas face às grandes dimensões em altimetria e planimetria ou as suas características de funcionamento e exploração. Tais edifícios e recintos são classificados como perigosidade atípica e ficam sujeitos a soluções não normalizadas como as previstas no RJSCIE. No entanto essas medidas devem ser:

- Devidamente fundamentadas pelo autor, através de análise de risco, práticas experimentais, métodos de ensaio ou modelos de cálculo;
- Baseadas em tecnologias inovadoras no âmbito das disposições construtivas ou dos sistemas de equipamentos de segurança;

- Explicitamente referidas como não conformes no termo de responsabilidade do autor do projeto;
- Sejam aprovadas pela ANPC.

A legislação portuguesa não possui uma norma específica para estádios de futebol, estando este tipo de edificação classificada dentro de critérios prescritivos estabelecidos pela Utilização Tipo VI – Espetáculos e reuniões públicas, mas devido à complexidade da arquitetura e número elevado de ocupantes, pode-se considerar uma edificação com perigosidade atípica, sendo recomendado análise de desempenho.

3.6 Brasil

No Brasil não existe uma legislação de segurança contra incêndios nacional, sendo de responsabilidade dos Corpos de bombeiros locais de cada Estado estabelecer os critérios de segurança contra incêndio. Como a edificação em estudo está localizada na cidade de Fortaleza, Estado do Ceará, será aplicada a legislação estabelecida neste Estado. Esta, está estabelecida de seguinte forma:

Lei 13.556, de 29 de novembro de 2004, dispõe sobre a segurança contra incêndios, Decreto 28.085:

- NT 01 - Procedimentos Administrativos.
- NT 02 - Terminologia e simbologia de segurança contra incêndio e pânico.
- NT 03 - Saídas de emergência em centros desportivos ou de exibição.
- NT 04 - Sistema de proteção por aparelhos extintores.
- NT 05 - Saídas de emergência.
- NT 06 - Sistema de proteção por aparelhos extintores.
- NT 07 - Manipulação, armazenamento, comercialização e utilização de gás liquefeito de petróleo.
- NT 08 - Carga de Incêndio.
- NT 09 - Iluminação de emergência.
- NT 10 - Acesso de viaturas.
- NT 11 - Deslocamento de viaturas na zona urbana.
- NT 12 - Sistema de deteção e alarme.

O tema em questão prevê a utilização de critérios estabelecidos pelas normas técnicas 03 e 05, porém a NT 03/ 2010 é adaptação da Nota Técnica de Referência em Prevenção Contra

Incêndio e Pânico em Estádios e Áreas afins do Ministério da Justiça e a NT 05/2008 estabelece os mesmos parâmetros da NBR 9077, logo para o estudo em questão serão utilizadas as normas originais.

3.7 ABNT – NBR 9077: 2003 (Saídas de emergência em edifícios)

Esta norma brasileira regula as saídas de emergência em edifícios, fixando as condições exigíveis que as edificações devem possuir, a fim de que sua população possa abandoná-las, em caso de incêndio, completamente protegida em sua integridade física, permitindo, ainda, fácil acesso ao auxílio externo (bombeiros) para o combate ao fogo e a retirada da população. Para tal, a norma objetiva projetar as saídas comuns das edificações para que possam servir como saídas de emergência, quando exigidas. Suas prescrições são aplicáveis a todas as edificações classificadas quanto à sua ocupação, estabelecidas por suas alturas, dimensões em planta ou características construtivas.

Segundo Ono (2010), esta norma é resultada dos trabalhos do CB-2 (Comitê Brasileiro da Construção Civil) da ABNT, com a colaboração do CB-24 (Comitê Brasileiro de Segurança contra Incêndio). Segundo (Ono, 2010), para o dimensionamento das saídas de emergência a NBR 9077 está baseada no conceito de unidade de passagem, em que a largura das saídas é produto do número de unidades estabelecido para atender fluxo gerado pela movimentação da população na edificação. Considere-se os seguintes critérios de dimensionamento:

- Cálculo da população: de acordo com a classificação da edificação estabelecida na norma e os parâmetros de cálculo previstos, chega-se ao cálculo da população considerando a área do pavimento e a densidade populacional adotada;

Quadro 5 – Parte da tabela 5 da NBR 9077 (Classificação das edificações quanto a suas ocupações)

Ocupação		População ^(A)	Capacidade da U. de passagem		
Grupo	Divisão		Acessos e descargas	Escadas ^(B) e rampas	Portas
F	F-1	Uma pessoa por 3,00 m ² de área	100	75	100
	F-2, F-5, F-8	Uma pessoa por m ² de área ^(E) ^(G)			
	F-3, F-6, F-7	Duas pessoas por m ² de área ^(G) (1:0,5m ²)			
	F-4	†(1)			

- Largura mínima de saídas: o cálculo deste parâmetro deve considerar o número de pessoas que transitam percorrem nos corredores, escadas, descargas, etc. Fica este dimensionamento estabelecido pela fórmula 3.1;

$$N = P / C \quad (3.1)$$

Onde,

N: número de unidades de passagem;

P: População

C: Capacidade da unidade de passagem

A largura mínima de uma unidade de passagem é 1,10 m (duas unidades de passagem de 0,55 m), sendo que para locais dos grupos F (locais de reunião de público), este valor mínimo vai para 1,65m (três unidades de passagem).

- Número de saídas: está estabelecido na Tabela 7 da norma e relacionado com o tipo de ocupação, altura, dimensões dos pisos e características construtivas. Assim como a distribuição das saídas, a norma aceita uma única saída para edificações do tipo habitações multifamiliares até 4 unidades autônomas por piso (ver Quadro 6).

Quadro 6 - Parte da tabela 7 da NBR 9077 (Número de saídas e tipos de escadas)

Dimensão		P (área de pavimento ≤ 750 m²)					Q (área de pavimento > 750 m²)												
Altura		K	L	M	N	O	K	L	M	N	O								
Ocupação		Tip o esc		Tip o esc		Tip o esc		Tip o esc		Tip o esc									
Gr.	Div.	N ^(Os)	N ^(Os)	N ^(Os)	N ^(Os)	N ^(Os)	N ^(Os)	N ^(Os)	N ^(Os)	N ^(Os)	N ^(Os)								
	F-1	1	1	NE	1	EP	2	EP	2	PF	2	2	EP	2	EP	2	PF	2	PF
	F-2	1	1	NE	1	EP**	2	PF	2	PF	2	2	NE	2	EP	2	PF	2	PF
	F-3	2	2	NE	2	NE	2	PF	2	PF	2	2	NE	2	EP	2	PF	2	PF
F	F-4	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†
	F-5	2	2	NE	2	2	2	PF	2	PF	2	2	EP	2	EP	2	PF	3	PF
	F-6	2	2	EP**	2	2	2	PF	2	PF	2	2	EP	2	EP	2	PF	2	PF
	F-7	2	2	NE	2	-	-	-	-	-	3	3	NE	3	EP	-	-	-	-
	F-8	1	1	NE	2	2	2	PF	2	PF	2	2	EP	2	EP	2	PF	2	PF

- Distância a percorrer: é a distância máxima até atingir um local seguro (espaço livre exterior, área de refúgio, escada protegida ou à prova de fumo) e está prevista na tabela 6 da norma. Os parâmetros X, Y e Z do Quadro 7 estão relacionados com as características construtivas da edificação.

Quadro 7 - Tabela 6 da NBR 9077 (Distâncias máximas a serem percorridas).

Tipo de edificação	Grupo e divisão de ocupação	Sem chuveiros automáticos		Com chuveiros automáticos	
		Saída única	Mais de uma saída	Saída única	Mais de uma saída
X	Qualquer	10,00 m	20,00 m	25,00 m	35,00 m
Y	Qualquer	20,00 m	30,00 m	35,00 m	45,00 m
Z	C, D, E, F, G-3, G-4, G-5, H, I	30,00 m	40,00 m	45,00 m	55,00 m
	A, B, G-1, G-2, J	40,00 m	50,00 m	55,00 m	65,00 m

3.8 Nota Técnica de Referência em Prevenção Contra Incêndio e Pânico em Estádios e Áreas Afins (Ministério da Justiça, 2012)

Esta nota técnica foi elaborada com a gestão da Secretaria Nacional de Segurança Pública (SENASP) e com a participação de representantes de todos os Corpos de Bombeiros Militares do Brasil com intuito de aumentar as condições de segurança nos estádios destinados a Mundial de futebol de 2014 no Brasil.

O seu principal objetivo era estabelecer os requisitos mínimos para a segurança contra incêndio e pânico em centros desportivos, vários tipos de eventos culturais e de exibição, com foco especial para a determinação do efetivo máximo e o dimensionamento de saídas.

Esta nota técnica aplica-se às edificações destinadas a reunião de público (estádios, ginásios, rodeios etc.) com lotação superior a 2.500 pessoas.

Todos os estádios do Mundial de futebol de 2014 foram avaliados através dos critérios estabelecidos por esta nota técnica. A norma é dividida em 14 partes:

- Objetivo;
- Aplicação;

- Referências normativas;
- Definições;
- Área de acomodação do público – setores;
- Saídas;
- Dimensionamento de saídas;
- Setores para espectadores em pé em eventos desportivos em geral;
- Outras exigências;
- Edificações de caráter temporário;
- Edificações existentes;
- Prescrições diversas;
- Procedimentos administrativos;
- Publicação.

A seguir serão descritos os parâmetros da norma relevantes ao estudo.

3.8.1 Área de Acomodação de público – Sectores

Os sectores devem possuir pelo menos duas saídas alternativas e serem dimensionados para o público existente, no máximo 10.000 pessoas por sector.

Os caminhos de evacuação dos atletas devem ser diferentes das de evacuação do público e as bancadas para público em pé devem ser dotadas de barreiras.

3.8.1.1 Patamares (degraus) das bancadas

Os comprimentos máximos e número de assentos nas filas das bancadas devem obedecer os seguintes critérios: (ver Figura 16)

- 20 metros quando houver acesso em ambas as extremidades da fila;
- 10 metros quando houver acesso em apenas uma das extremidades.

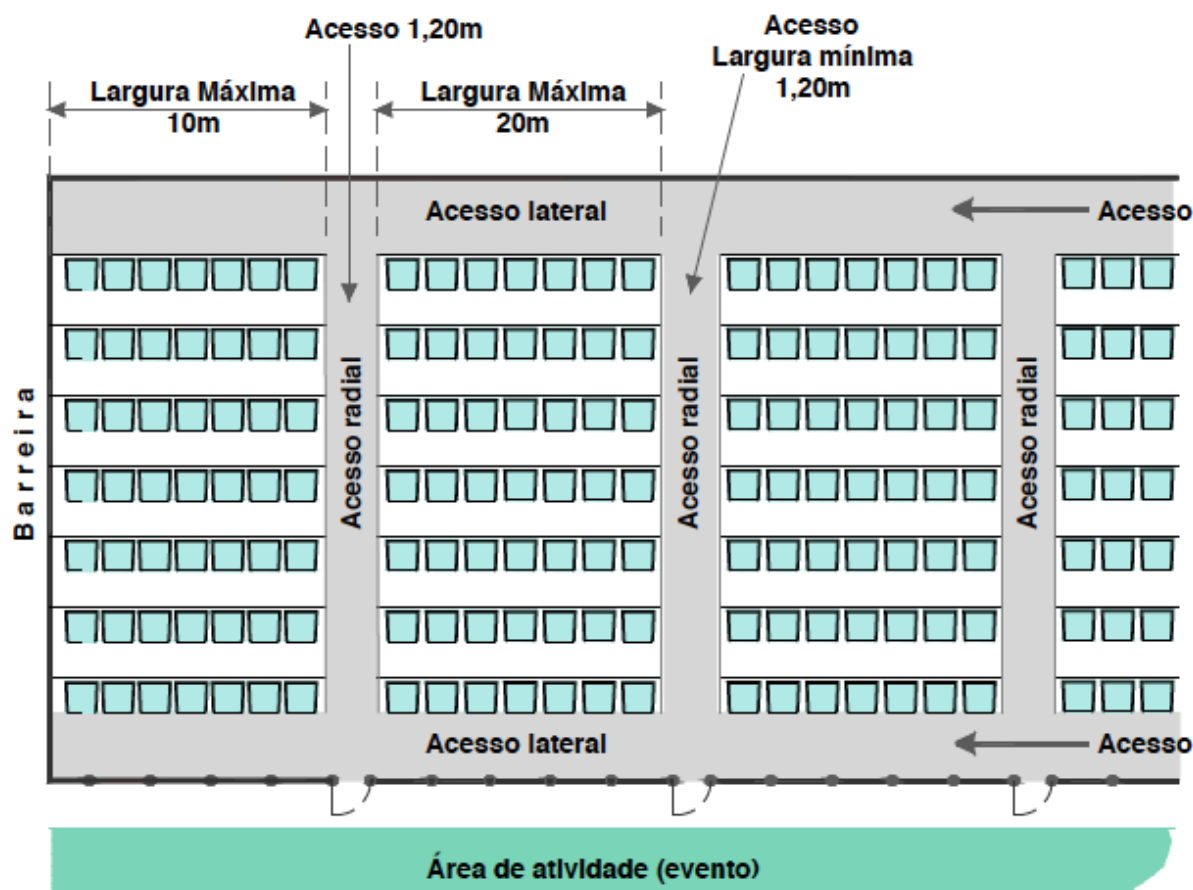


Figura 16 - Detalhe do comprimento e número máximo de assentos, (Ministério da Justiça, 2012).

Para patamares das bancadas em locais para público em pé ou que são utilizados como degrau das bancadas a altura deve ficar entre 0,15m e 0,19m, com largura máxima de 0,40m. Em locais para público sentado deve ter largura mínima de 0,80m e altura máxima de 0,57m. Conforme Figura 17 e 18 a seguir.

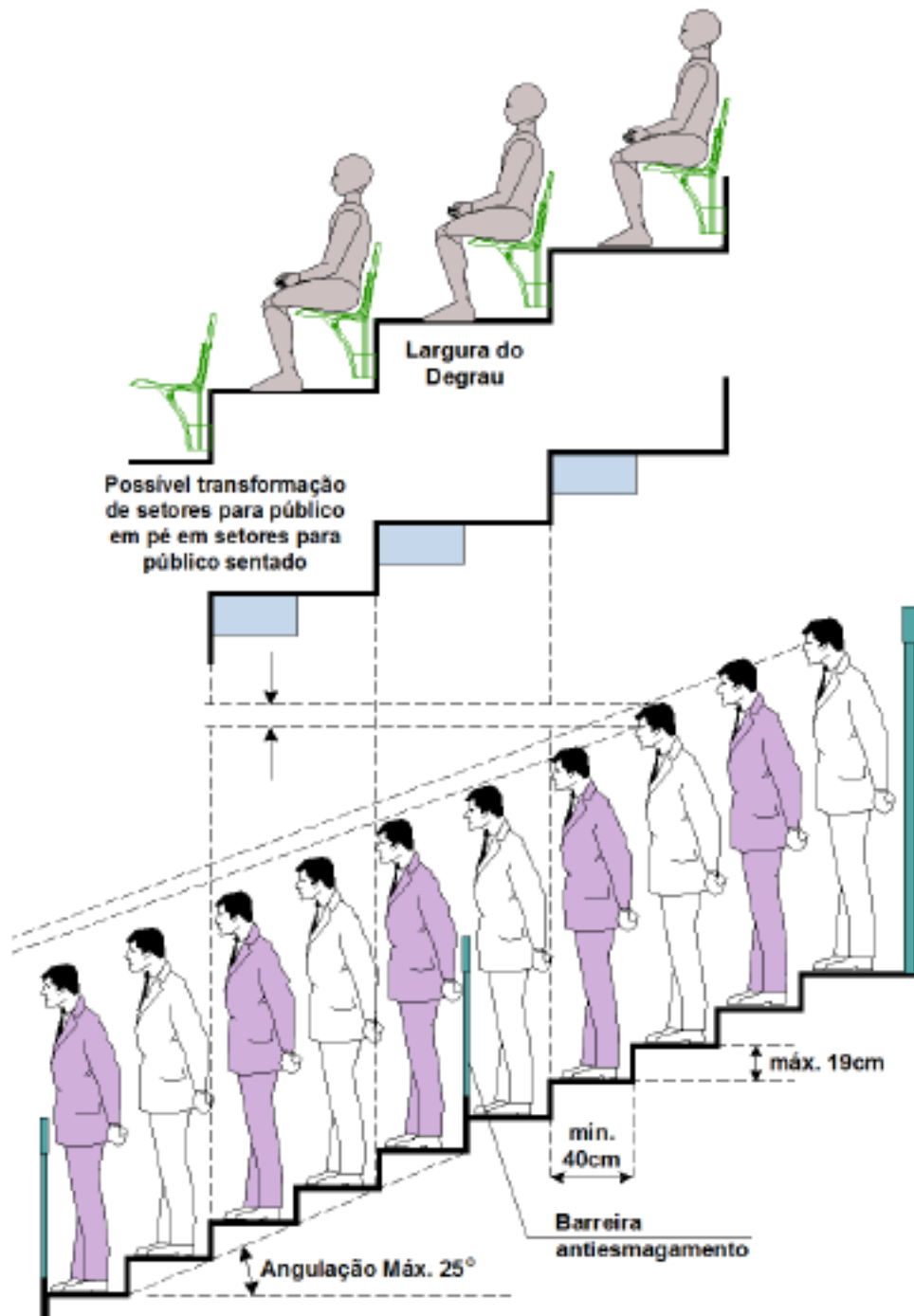


Figura 17 - Detalhe dos patamares para público em pé, (Ministério da Justiça, 2012).

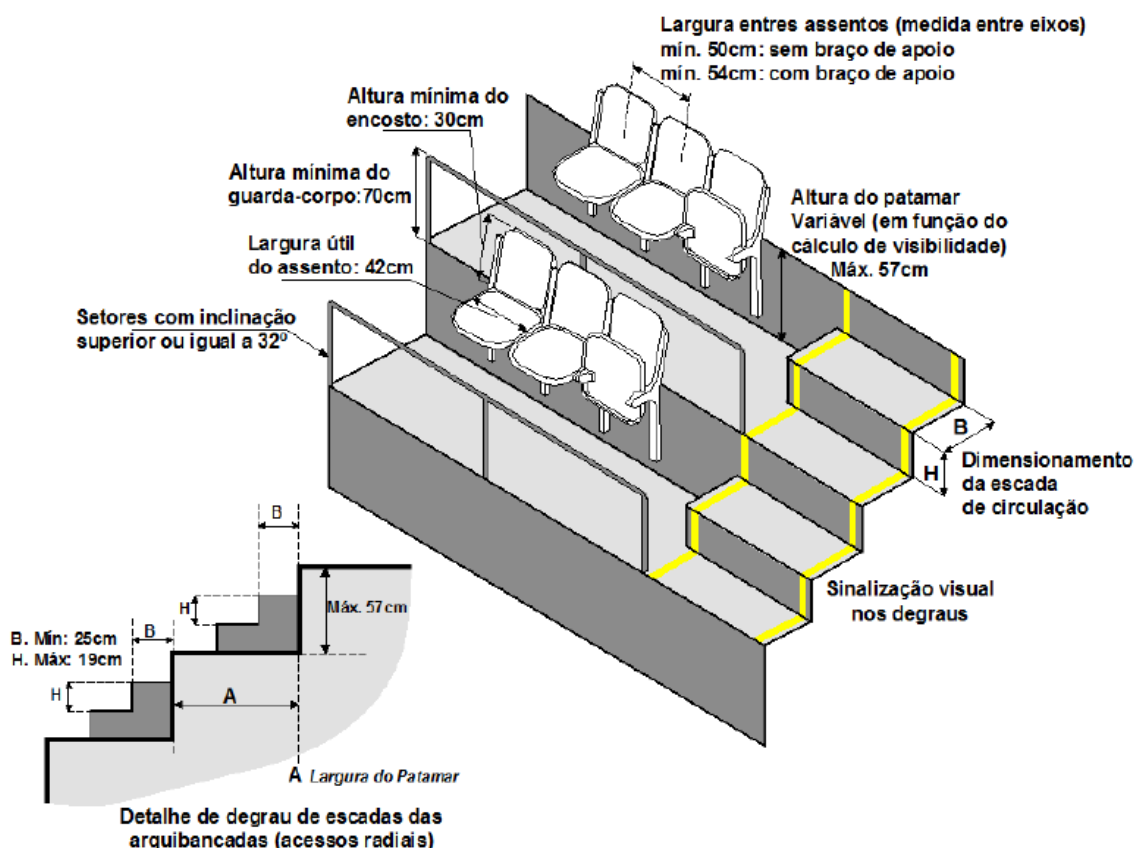


Figura 18 – Detalhe das cadeiras e dos patamares das bancadas (Ministério da Justiça, 2012).

3.8.1.2 Cadeiras

Além de critérios de resistência mecânica e fogo, os assentos devem obedecer aos critérios abaixo: (ver Figura 19)

- Mínimo 0,42 m de largura útil e 0,50 m entre eixos, medidos centralizadamente;
- Espaçamento mínimo de 0,40m para circulação nas filas, entre projeção dianteira de um assento de uma fila e as costas do assento da frente;
- Ter encosto superior a 0,30 m;
- Serem fixos;
- As frentes das primeiras fileiras de assentos dos setores de bancadas, localizadas em cotas inferiores, deverá ser mantida a distância mínima de 0,55 m para circulação;
- Guarda corpo frontal com altura mínima de 1,10 m;
- Guarda-corpo da parte de trás com altura mínima de 1,80 m.

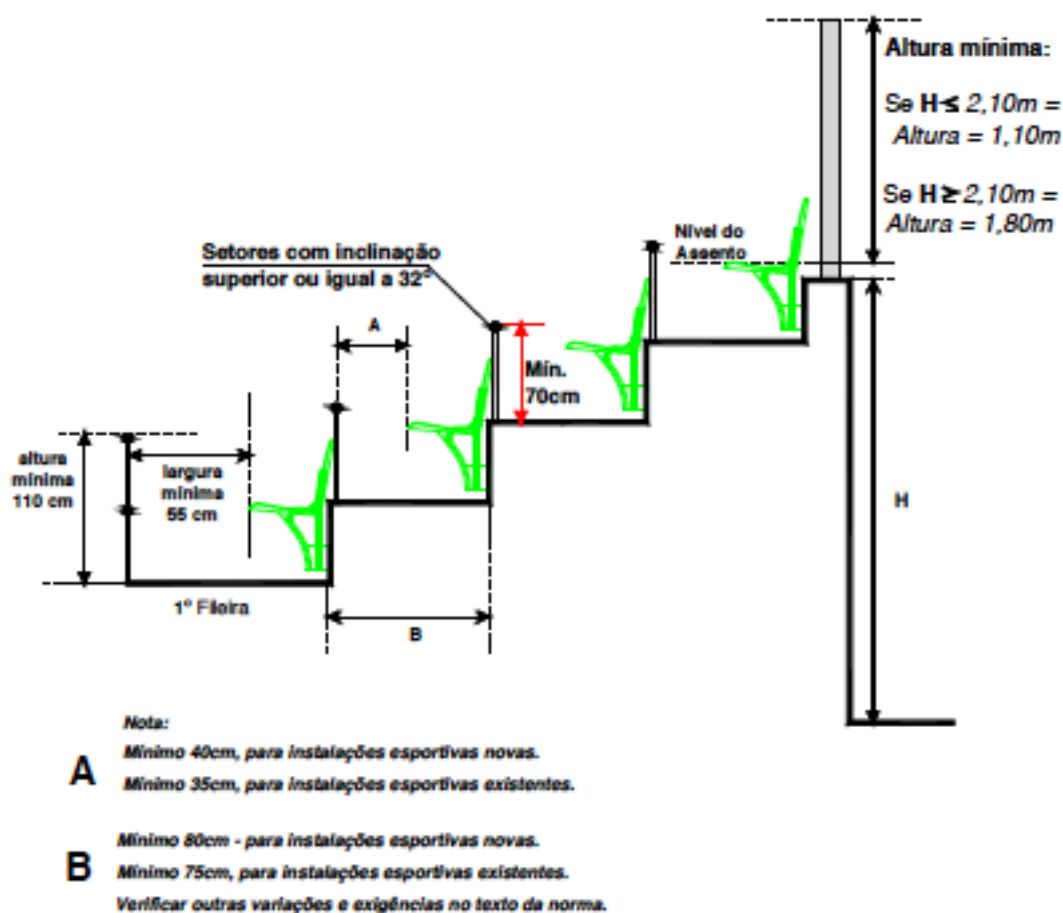


Figura 19 –Detalhe das cadeiras nas bancadas e guarda-corpos. (Ministério da Justiça, 2012).

3.8.1.3 Inclinações das bancadas

A inclinação máxima admitida é de 37 graus, medido entre a primeira fila e a última tendo por base a cota inferior dos degraus das bancadas em relação à horizontal.

Nos setores igual ou superior a 32 graus se faz necessária a instalação de barreiras (guarda-corpos) com altura mínima de 0,70m na frente de cada fila de assentos, com resistência de 1,5kN/m.

Setores com público em pé, bem como setores com assentos no próprio patamar, a inclinação não deve passar 25 graus.

3.8.2 Saídas

3.8.2.1 Regras Gerais

De acordo com a norma as saídas podem ser nominadas em:

- Acesso;
- Circulações de saídas verticais e horizontas;
- Escadas e rampas;
- Descarga;
- Espaço livre no exterior.

Os responsáveis pela edificação devem garantir a presença de pessoas habilitadas para assegurar que as vias de saída estejam planejadas para que os espectadores circulem livremente até chegar a área externa, devendo apresentar plano de emergência para isto. O plano deve observar:

- Número mínimo de saídas e distribuídas uniformemente;
- Largura adequada das saídas;
- Distância a percorrer;
- Dispositivos que direcionem adequadamente o fluxo de pessoas pela rota de fuga;
- Sinalização, identificação e iluminação das saídas.

A largura mínima da saída deve ser de 1,20m, abrirem sempre no sentido da abandono, possuírem barra antipânico e as saídas finais devem ser monitoradas pela equipe de segurança. Sendo vetada a utilização de portões e portas de correr e/ ou enrolar nas saídas.

As larguras devem ser dimensionadas em virtude da população de cada sector isolado e haver no mínimo duas alternativas distinta de fuga em lados opostos do sector. As circulações não podem ter estreitamento em suas larguras e em caso do aumento de fluxo devem ser redimensionada.

Os locais diversos (camarins, vestiários, escritórios, etc.) devem obedecer as normas locais para seu dimensionamento.

Quaisquer locais que reúnam público (WC, bares, etc.) devem distar de no mínimo 5 m das saídas. A Figura 20 exemplifica este item e outros relativos ao escoamento de efetivo.

Os desníveis não devem exceder 10% de inclinação e devem possuir patamar intermediário a cada 10 metros.

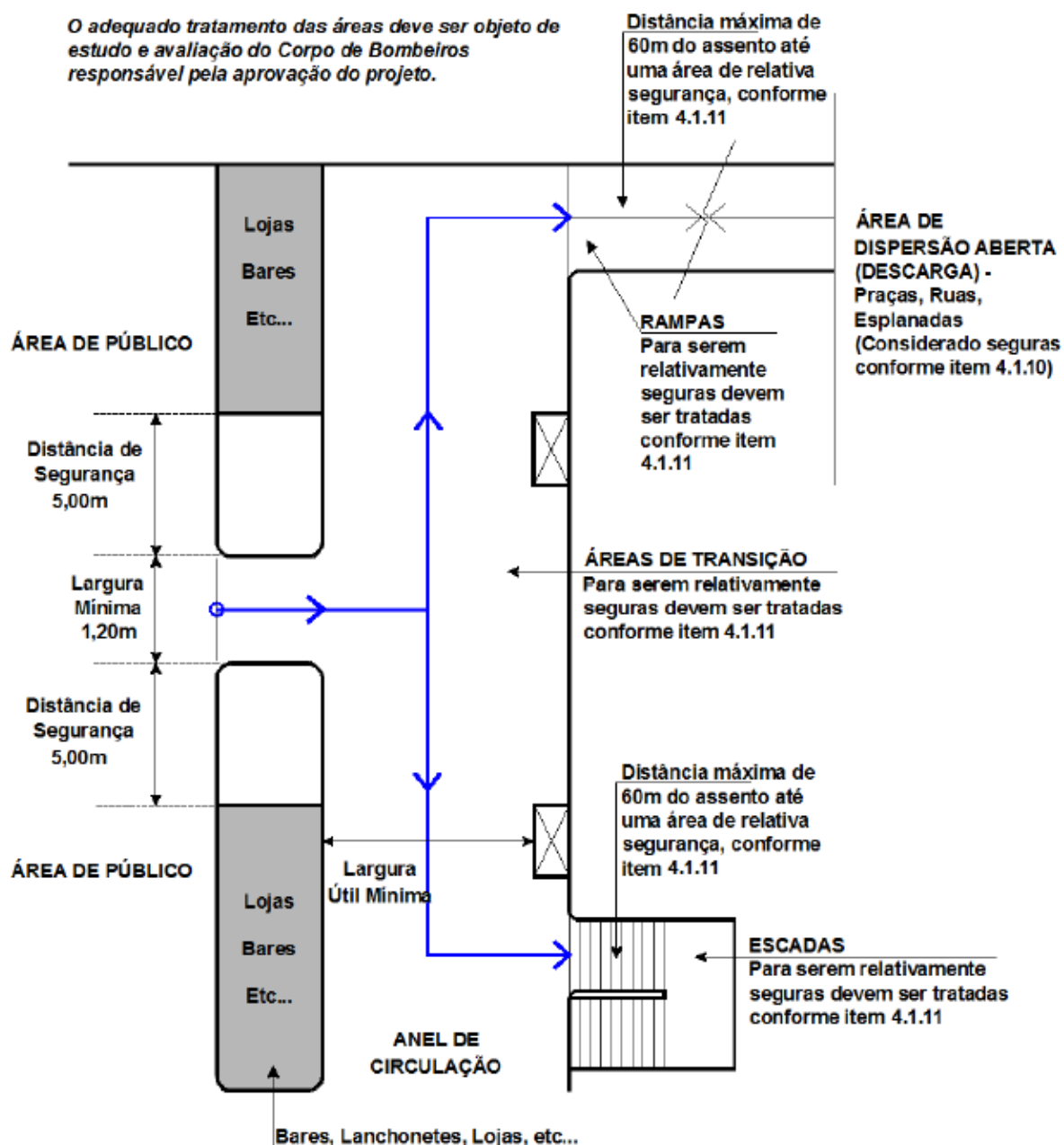


Figura 20 – Saídas de evacuação e escoamento do efetivo. (Ministério da Justiça, 2012).

Nas barreiras ou alambrados que separam a área do evento dos locais acessíveis ao público devem ser previstas passagens que permitam aos espetadores sua utilização em caso de emergência, mediante sistema de abertura nos dois sentidos, acionados pelos componentes de segurança ou brigada de incêndio.

As paredes não devem possuir a arestas vivas nas mudanças de direção.

Todas as saídas devem ser numeradas e sinalizadas de ambos os lados (interno e externo) e possuir altura mínima de 2,20m.

3.8.2.2 Saídas Verticais

Todos os tipos de escadas ou rampas deverão ter: (ver Figura 21)

- Largura mínima de 1,20m;
- Piso antiderrapante e incombustível;
- Corrimão em ambos os lados da escada, com uma altura entre 0,80m e 0,92m;
- Os guarda-corpos devem ter uma altura mínima de 1,10m;
- Em caso de mais de 2,40m de largura, possuir corrimão intermédio a cada 1,80m no máximo e 1,20m no mínimo;
- Lanço mínimo de três degraus.

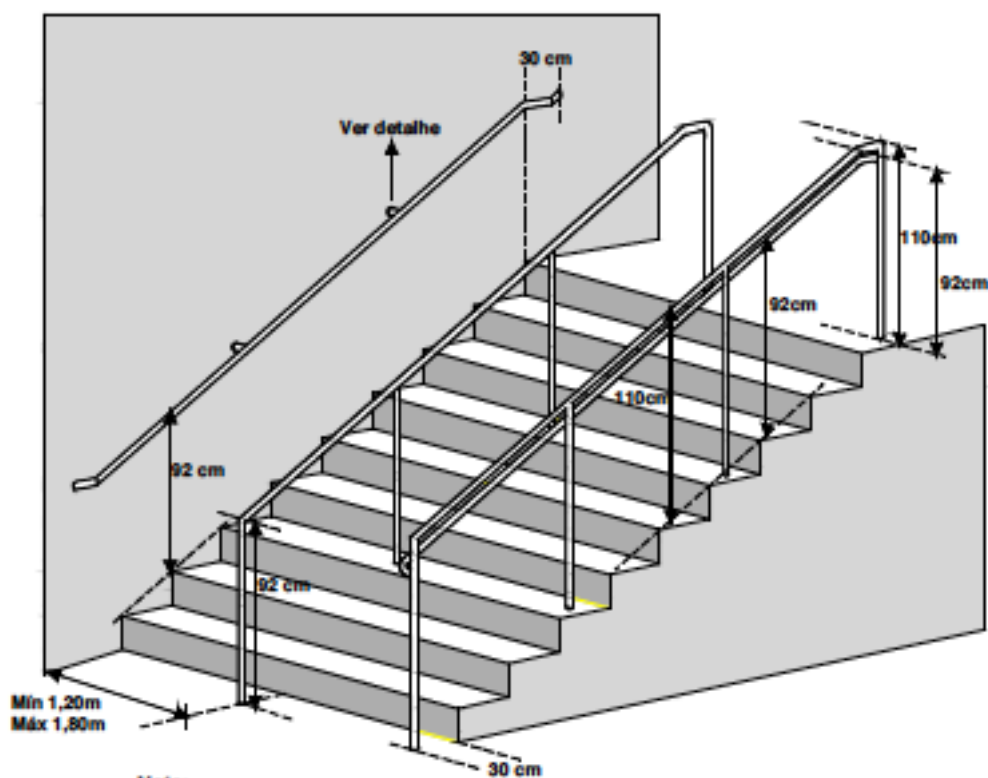


Figura 21 - Dimensões de corrimões e guarda-corpos da escada. (Ministério da Justiça, 2012).

As rampas podem suceder um lanço de escada, no sentido descendente de saída, mas nunca precede-lo.

3.8.2.3 Descargas e Espaço Exterior

O dimensionamento da área de descarga deve considerar todas as saídas que para ela convergem.

As descargas devem atender aos seguintes requisitos:

- Não ser utilizado como estacionamento de veículo;
- Serem mantidas livres e desimpedidas;
- Não serem utilizadas como depósito de qualquer natureza;
- Serem distribuídas de forma equidistante e dimensionadas de maneira a atender o fluxo a elas destinado e o tempo de evacuação máximo;
- Não possuir saliências, obstáculos ou instalações que possam causar lesões em caso de abandono de emergência.

3.8.2.4 Guarda-Corpos, Barreiras e Corrimões

Toda saída com desnível superior a 18% deve possuir corrimões e guarda-corpos contínuos em ambos os lados. A altura das barreiras deve ser de 1,10m no mínimo e corrimãos devem possuir terminações arredondadas ou curvas.

Nos acessos radiais das bancadas, quando houver acomodações em ambos os lados, os corrimãos devem ser laterais ou centrais. Se forem centrais deverão possuir descontinuidade no mínimo a cada duas fileiras e no máximo a cada quatro fileiras de assentos, facilitando passagem de um lado a outro. Estas aberturas terão a mesma largura do patamar.

As Figuras 22 e 23 indicam as características dos Guarda-Corpos, Barreiras e Corrimões.

No perímetro de proteção aos túneis de acesso (vomitórios), para compor a altura mínima de 1,10 m, recomenda-se que até altura de 0,90 m a guarda seja em betão.

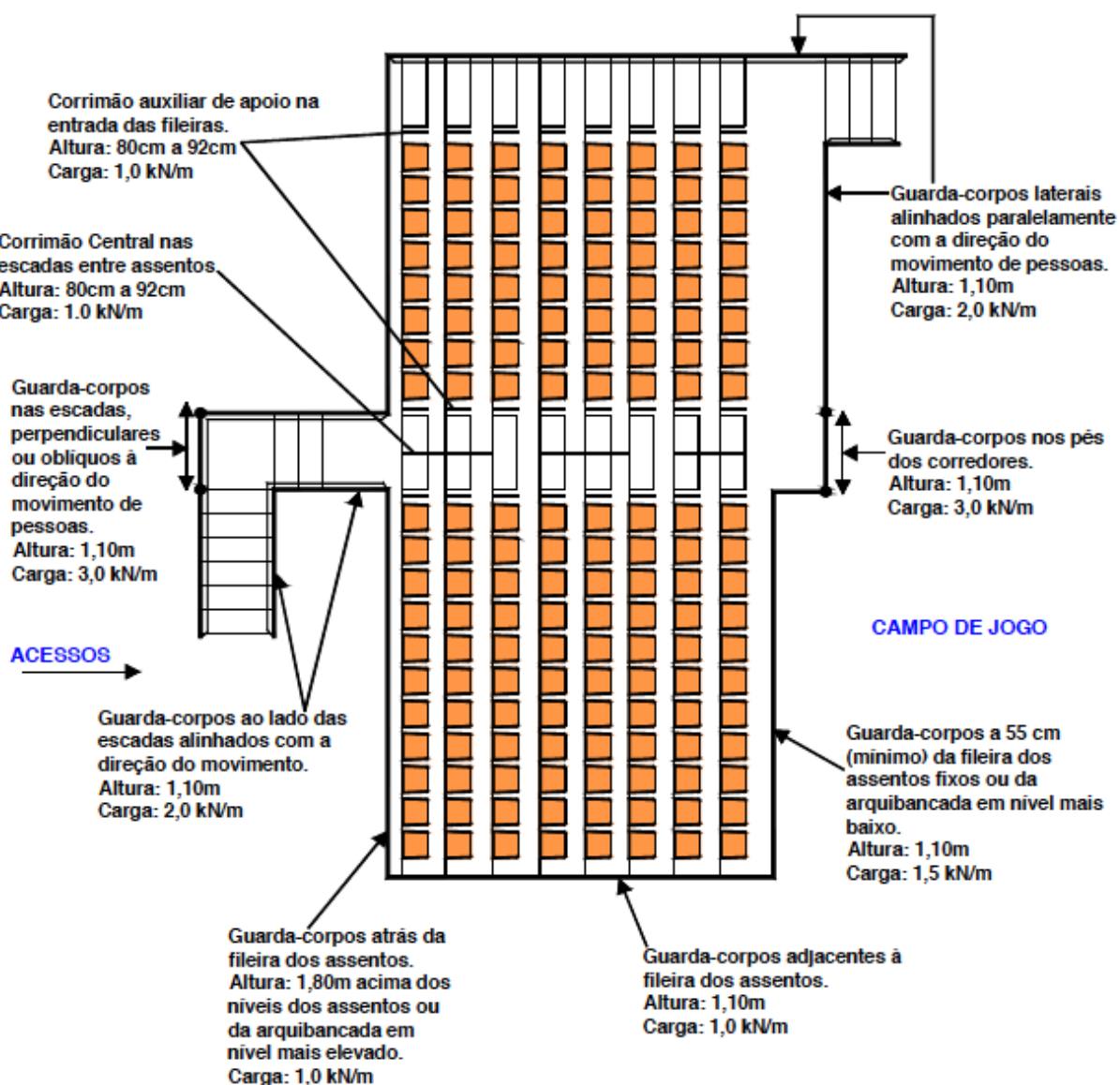


Figura 22 - Barreiras, guarda-corpos e corrimões centrais: efetivo ou carga de incêndio, altura e disposição (Ministério da Justiça, 2012)

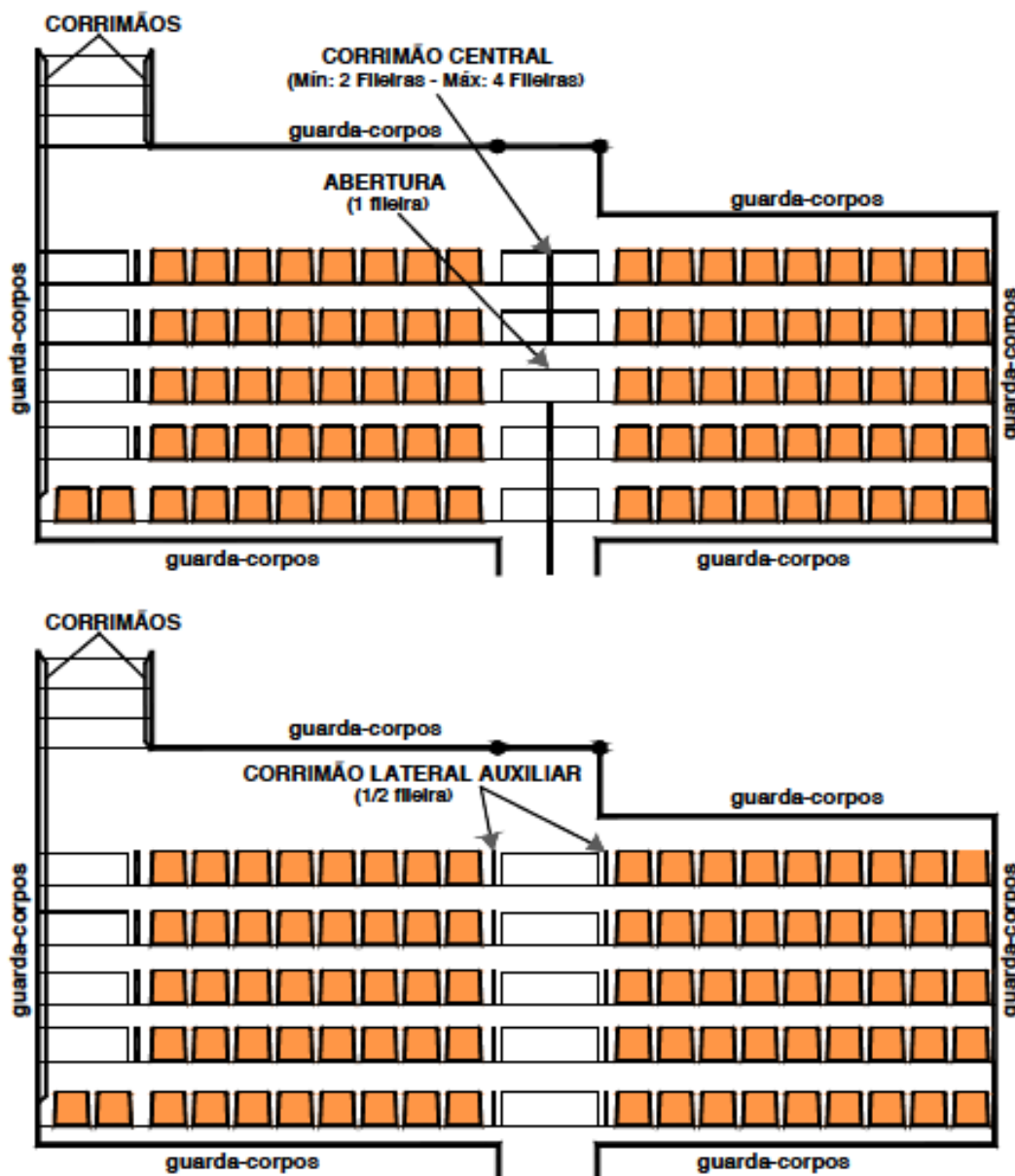


Figura 23 - Corrimões centrais e laterais. (Ministério da Justiça, 2012).

Para escadas de evacuação e circulação de público com uma largura útil total maior que 3,60m devem ser instaladas barreiras retardantes antes da chegada às mesmas para um melhor controle e promoção de um ritmo contínuo de público.

Barreiras anti-esmagamentos devem ser previstas nas bancadas para público em pé, espaçadas em função da inclinação e devem possuir os seguintes requisitos:

- Serem contínuas entre acessos radiais;
- Terem alturas de 1,10m;
- Não possuírem bordas ou pontas agudas. As bordas devem ser arredondadas.

As Figuras 24, 25, 26, 27 e 28 melhor exemplificam o apresentado neste item.

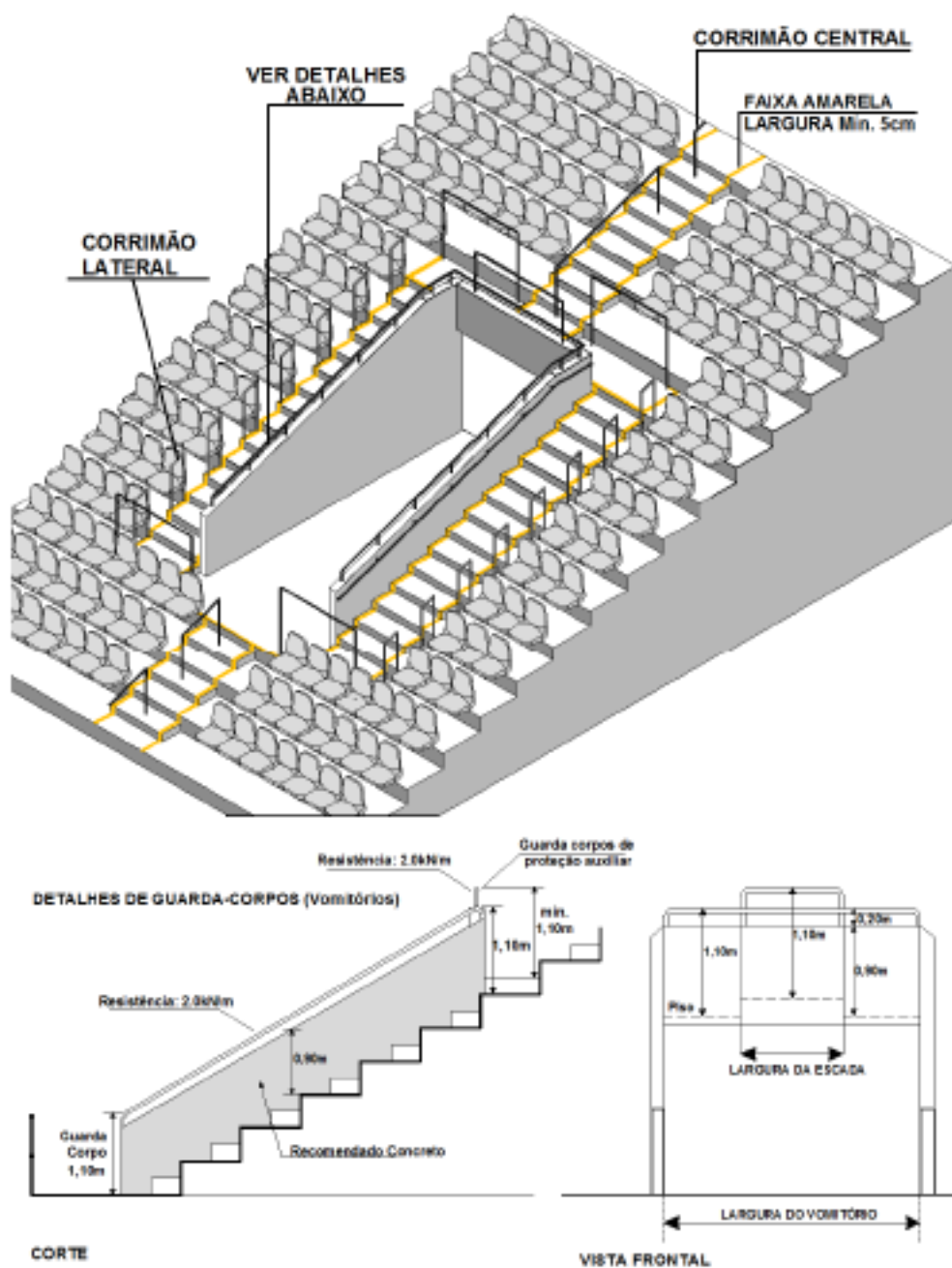


Figura 24 – Perspetiva do vomitório padrão (Ministério da Justiça, 2012).

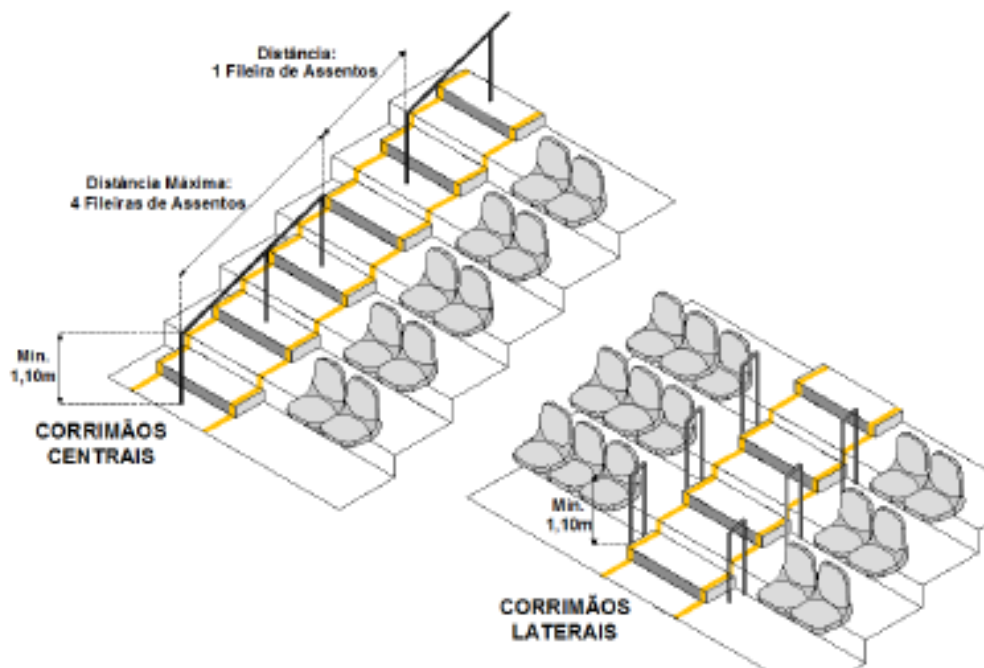


Figura 25 – Perspectiva dos corrimãos centrais e laterais (Ministério da Justiça, 2012).

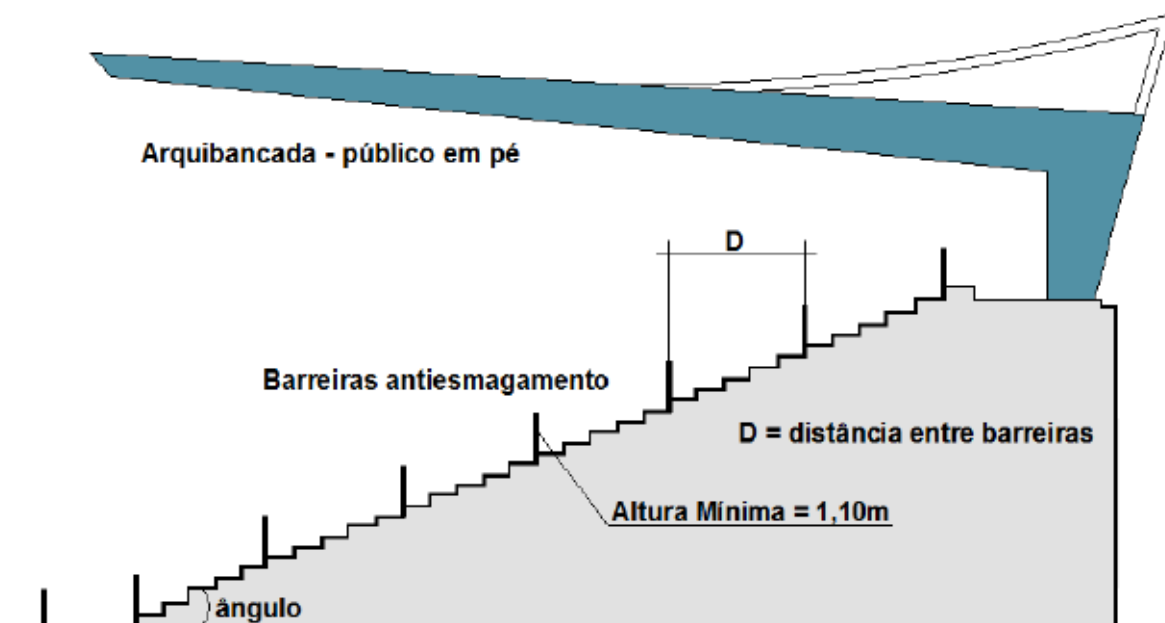


Figura 26 - Barreiras anti-esmagamento – posição (Ministério da Justiça, 2012).

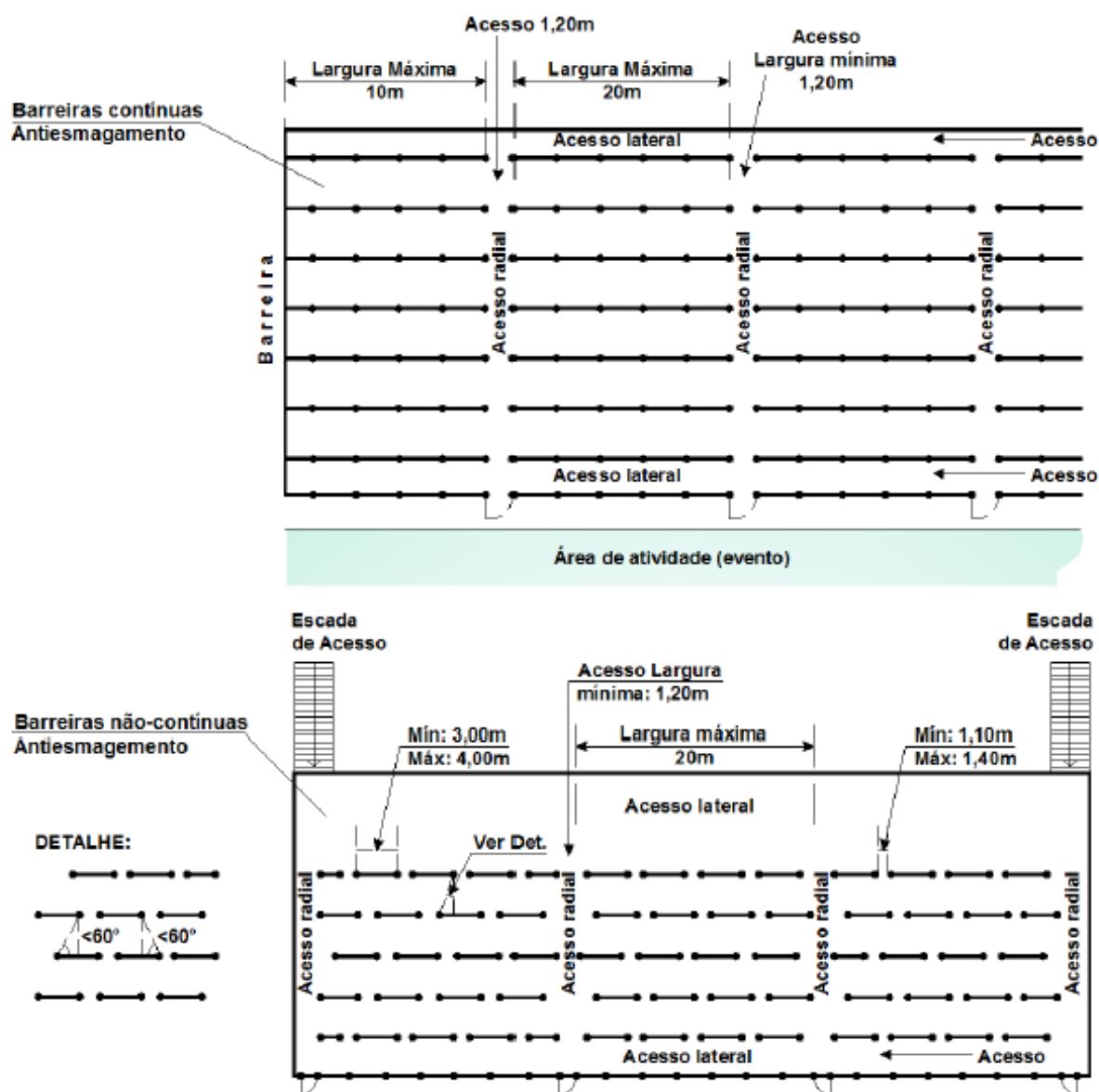


Figura 27 - Barreiras anti-esmagamento – contínuas e não-contínuas. (Ministério da Justiça, 2012).

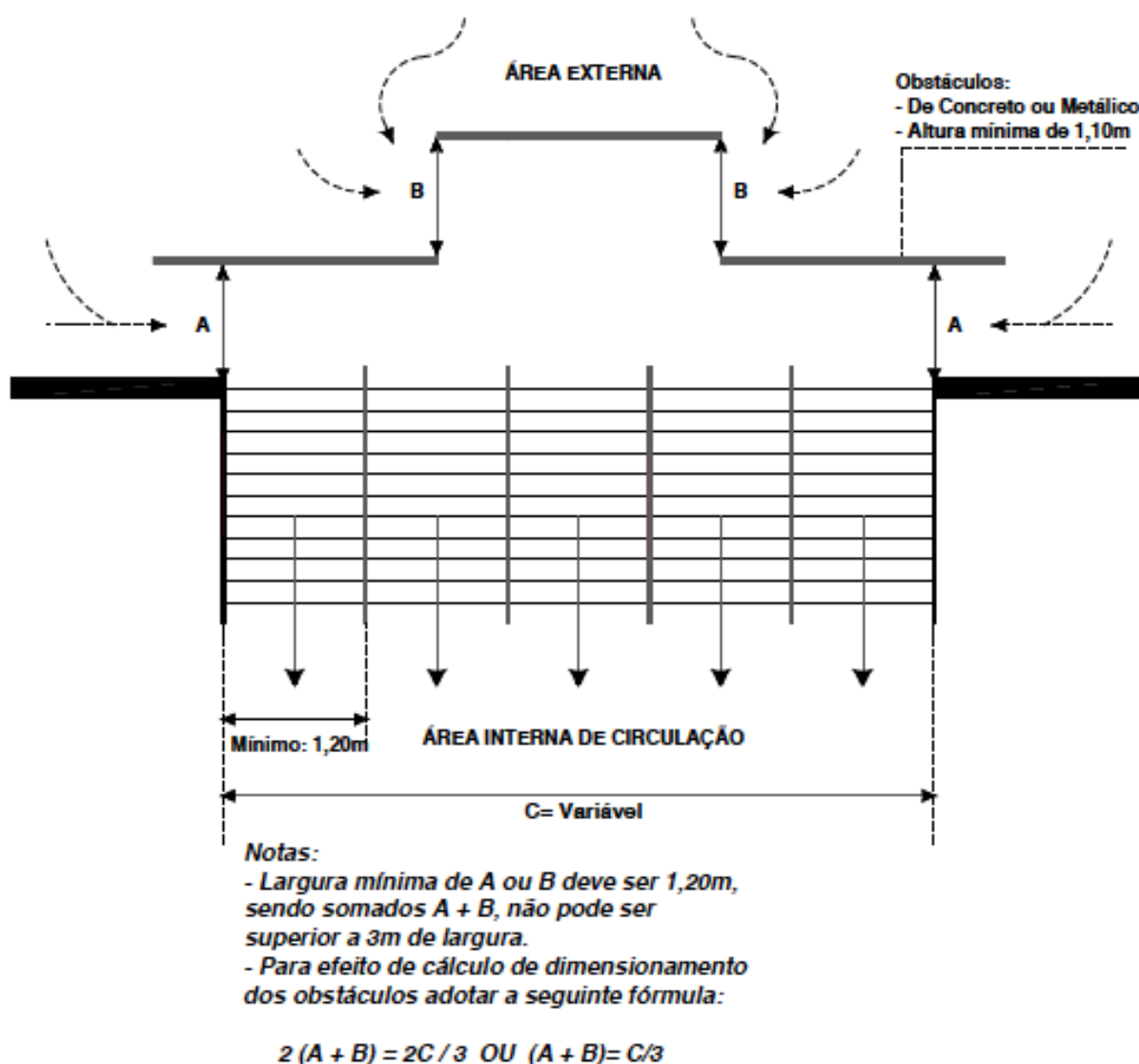


Figura 28 - Barreiras retardantes (controle de velocidade), (Ministério da Justiça, 2012).

3.8.2.5 Dimensionamento de Saídas

Cálculo da População

Em bancadas com cadeiras a lotação consiste no número total de cadeiras numeradas existentes, obedecendo aos critérios estabelecidos por norma. Em locais sem cadeiras, considera-se 0,5m linear por pessoa:

$$P = (2x) \times n \quad (3.2)$$

Onde:

P: População do setor;

x: extensão da bancada em metros;

n: número de degraus da bancada.

Para setores com público em pé e para fins de cálculo de público, considera-se uma densidade de 4 pessoas por metro quadrado e 3 pessoas por metro quadrado para estimar a quantidade de ingressos à venda como fator de segurança. Sendo o mesmo feito, quando a área do campo é utilizada para comportar espectadores em eventos, porém nesse caso, deve ser considerado um tempo máximo de abandono do recinto de 5 minutos.

Deve estar previsto, pela equipa de segurança controlo, o acesso aos sectores, ou seja, não pode haver passagem de um setor para o outro durante o evento, evitando a sobrelotação de um setor isolado. No que diz respeito aos ingressos, estes devem ser vendidos por sectores individualizados.

As áreas de circulação e caminhos de evacuação não podem ser contabilizados para cálculo do efetivo e o efetivo máximo de um evento pode ser reduzido pela imposição da autoridade local em nome da segurança.

Tempo de Saída

Tempo de saída da área de acomodação do público para um local de segurança, ou de relativa segurança. Não inclui o tempo para se percorrer toda circulação até a saída (do assento ao exterior).

Os tempos máximos de saída adotados são os seguintes:

- Bancada externas (abertas) : 8 minutos;
- Bancada interna (local fechado): 6 minutos;
- Áreas internas (para usos diversos): 2,5 minutos;
- Eventos temporários (público no relvado): 5 minutos.

Distância Máxima a Percorrer

Os critérios para se determinar as distâncias máximas de percurso do espectador, partindo de seu assento ou posição inicial, tendo em vista o tempo máximo de saída da área de acomodação e risco de vida, são os seguintes:

- A distância máxima a percorrer até se atingir local de relativa segurança, não pode exceder 60 metros;
- A distância máxima a ser percorrida pelo espectador em setores de bancada para alcançar a entrada do túnel de acesso (vomitério) não pode exceder 30 metros;
- A distância máxima para o espectador na bancada para atingir um acesso radial (corredor) não pode exceder 10 metros;
- Para eventos temporários em locais abertos, a distância máxima a percorrer pelo espectador para atingir uma saída não poderá ser superior a 120 metros.

A Figura 29 indica o percurso a ser seguido para cálculo medição destas distâncias.

Parâmetros Relativos à Evacuação

Para dimensionamento do tempo de evacuação deve adotar-se uma taxa de fluxo, que é indicativa do número de pessoas que passam por minuto numa determinada largura de saída (pessoas/minuto).

As taxas de fluxo máximas a serem consideradas são as seguintes:

- Nas escadas e circulações com degraus: 66 pessoas por minuto por metro (ou 79 pessoas por minuto, para uma largura de 1,20m);
- Nas saídas horizontais (portas, corredores) e rampas: 83 pessoas por minuto por metro (ou 100 pessoas por minuto, para uma largura de 1,20m);

Método de cálculo de: cálculo

$$E = F \times T \quad (3.3)$$

Onde,

F: Taxa de fluxo máximo (pessoas por minuto por metro)

T: Tempo máximo de abandono (minuto)

E: Capacidade de evacuação (pessoas por metro)

$$L = P/E \quad (3.4)$$

Onde,

P: População (pessoas)

L: Largura da saída (metro)

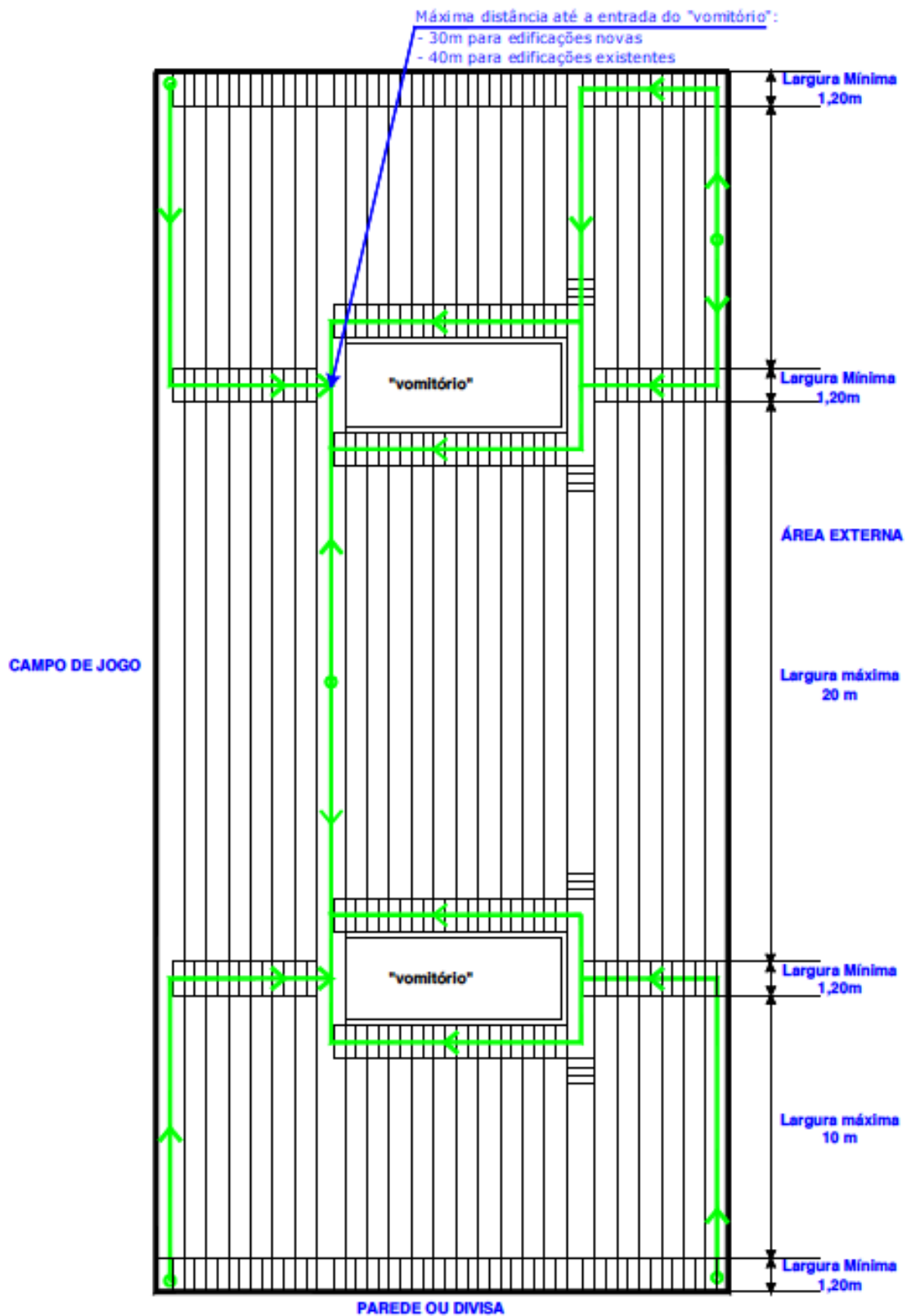


Figura 29 – Distância máxima a percorrer e acessos. (Ministério da Justiça, 2012).

3.8.3 Outras Exigências

Este item da norma estabelece outros critérios referentes a sistemas de segurança contra incêndio, não sendo estes objeto de tudo.

A edificação deve possuir uma sala em local estratégico, onde se possa ter visão completa do estádio e de setores diversos, devidamente equipada com câmaras de segurança, monitorizando o sistema de alarme e o acesso aos recursos de comunicação.

Os recintos devem ser equipados com sistema de sonorização, com possibilidade de setorização que permitam difundir, em caso de emergência, um aviso de abandono ao público e acionar os meios de socorro. Este sistema deve ter autonomia de 120 minutos.

Antes de cada evento, deve ser alertado a existência e localização dos caminhos de evacuação de cada setor e quais os sistemas de segurança existentes, bem como placas de sinalização com lotação máxima por setor, conforme Figura 30.

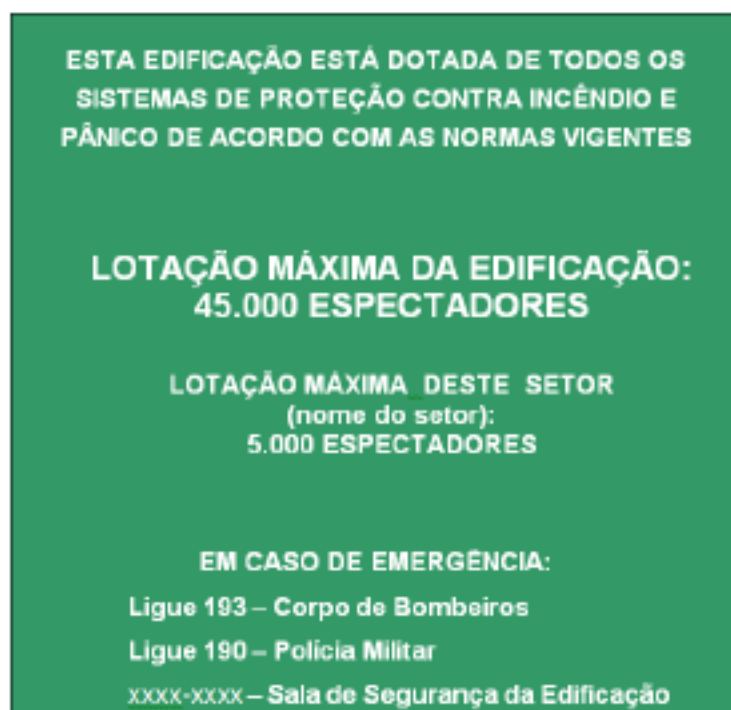


Figura 30 – Sinalização de público (Ministério da Justiça, 2012).

3.8.4 Edificações de Caráter Temporário

Além dos critérios já estabelecidos, deve-se ter em conta os seguintes aspectos:

- Locais abaixo de bancadas e outras áreas destinadas ao público, não podem ser utilizadas como áreas úteis;
- É aceite material de madeira para constituir pisos como caminhos de evacuação, desde que estes possuam uma resistência mecânica compatível, seja antiderrapantes e sejam de difícil remoção;
- Eventos realizados no campo com público acima de 10.000 pessoas, devem possuir corredores de acesso para as equipas de segurança com largura mínima de 2,5 m.

3.8.5 Prescrições Diversas

Os estádios deverão ter equipas de atuação imediata a qualquer emergência, como por exemplo, brigadas de incêndio.

O administrador do local deverá apresentar um plano de emergência ao Corpo de Bombeiros local, prevendo um plano de evacuação.

Deverão ser fixados em todos os setores, mapas em locais visíveis, indicando:

- Localização atual;
- As duas saídas de emergência mais próximas;
- A direção a tomar para atingir estas saídas;
- Telefone da sala de comando e controlo.

Todos os acessos de entrada deverão possuir placas com a capacidade total de público, bem como nas entradas dos setores com o respetivo público do setor.

Os parâmetros indicados neste capítulo seguiram uma análise prescritiva para os estádios e os tempos máximos de abandono como critério de aceitação, ou não, da análise de desempenho.

4. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE EVACUAÇÃO

Os padrões de comportamento dos indivíduos são influenciados pelo desenvolvimento do incêndio, ou seja, condições ambientais. O movimento do fumo está diretamente relacionado com a evacuação das pessoas por ocorrerem simultaneamente, sendo a preocupação com a inalação de gases tóxicos o fator de maior preocupação durante o processo de evacuação.

Uma situação de emergência pode ser gerada por diversos fatores, tais como sismo e/ou fuga de gás, porém o incêndio apresenta o cenário de maior perigo, pois ocasiona a existência de diversos fenômenos que influenciam o comportamento das pessoas (Coelho, 2010).

Pinto (2008) cita que o tempo de evacuação de um edifício está ligado a geometria deste e a mobilidade das pessoas, bem como a seus parâmetros de comportamento, movimentação dos grupos e ao desenvolvimento do incêndio.

A simulação computacional permite observar variáveis como temperatura, a concentração de gases tóxicos e inflamáveis presentes no ambiente, tempo de acionamento do detetor e chuveiros automáticos, tempo de queima, entre outros (Seito, 2008).

Desta feita, Pannoni e Silva (2008) afirmam que este recurso pode ser utilizado para estimar o desempenho da edificação perante padrões de desempenho pré-estabelecidos. Bem como estabelecer o tempo em que o cenário de incêndio atinge os critérios de sobrevivência aceitáveis.

São critérios de sobrevivência relacionados à proteção a vida: concentração de monóxido de carbono (CO), ácido cianídrico (HCN), oxigênio (O₂), dióxido de carbono (CO₂), fluxo de calor, temperatura do ar e níveis de obscuramente do fumo.

Quadro 8 – Critérios de sobrevivência, (Braga, 2008).

Critério	Limite aceitável
Calor convectivo	Temperatura da camada de gases ≤ 65 °C (tempo para incapacitação de 30 min de exposição)
Obscurecimento da fumaça	Visibilidade na camada pertinente não inferior a 2 m (densidade óptica $0,5 \text{ m}^{-1}$)
Toxicidade	CO ≤ 1400 ppm (crianças pequenas na metade do tempo) HCN ≤ 80 ppm ; O ₂ $\geq 12\%$; CO ₂ $\leq 5\%$ (os valores levam à incapacidade em aproximadamente 30 min)
Calor radiativo	Fluxo de calor radiante a partir da camada superior $\leq 2,5 \text{ kW/m}^2$ (correspondente a uma temperatura da camada superior de gases de aproximadamente 200 °C. Acima disso, o tempo de tolerância é inferior a 20 s)

Seito (2008) esclarece que a fumo é o produto do incêndio que mais afeta as pessoas durante o abandono da edificação. A evacuação fica prejudicada porque a fumo diminui a visibilidade, aumenta a palpitação devido à presença de gás carbônico, provoca dificuldades respiratórias e lacrimejamento, induz o pânico e debilita o movimento das pessoas pelo efeito tóxico de seus componentes.

O modelamento computacional de incêndio pode utilizar dois métodos: probabilístico e determinístico. (Karlsson & Quintiere, 2000)

No método probabilístico não se faz uso direto dos princípios físicos e químicos envolvidos no fogo, mas sim, de predições estatísticas sobre a transição de um estágio para outro do crescimento do incêndio. No método determinístico utiliza-se princípios físicos químicos sobre a natureza dos incêndios. (BRAGA, 2008)

Em se tratando da simulação de evacuação, os trabalhos de investigação na comunidade internacional a respeito direcionam para a existência de dois tipos de modelos, os conceituais e os computacionais. Sendo os computacionais divididos em modelos de movimento, de comportamento parcial e de comportamento. (Alvear, 2007)

Os modelos conceituais buscam relacionar conceitos e comportamento a nível abstrato e mais teóricos que os modelos computacionais. Por sua parte, estes últimos têm objetivo de quantificar o movimento e a conduta humana durante situações de emergência. Um objetivo do modelo é prever o tempo de evacuação do edifício.

Modelos de movimento são os mais abrangentes, otimizam o movimento das pessoas. A rota escolhida pelos ocupantes obedecem 03 critérios: minimizar o tempo de evacuação, minimizar as distâncias a percorrer e otimizar divisão na utilização das saídas.

Os modelos de comportamento permitem que os ocupantes realizem ações durante o escape com base em alterações ambientais e os de comportamento parcial calculam o movimento ótimo e alteram esse a medida que se aplica coeficientes baseados em condições de pré-movimento (impaciência, familiaridade, etc.).

Na atualidade existe um número elevado de programas que buscam implementar o deslocamento de pessoas em emergência e obter o tempo de fuga. No entanto, nem todos estão disponíveis.

Cada modelo possui características específicas e aplicabilidade a situações determinadas, logo sua utilização deve considerar o método de cálculo empregado e as particularidades do caso de estudo.

Kuligowski (2009, apud Elisabete, 2010), fez uma descrição genérica das categorias para cada modelo conhecido e, a partir disso, pôde determinar o modelo que melhor se adapta à análise de desempenho pretendida:

- Disponibilidade: Identifica se os modelos estão disponíveis ao público e em que condições.
- Método de Modelação: indica o método de modelação que cada modelo utiliza para determinar os tempos de evacuação dos edifícios.
- Âmbito de aplicação: considera-se o tipo de edifício para que o modelo foi criado.
- Grelha / Estrutura: identifica o tipo de representação do edifício.
- Perspetiva do Modelo / Ocupante: esta categoria explica como o modelo “vê” os ocupantes e como os ocupantes “veem” o edifício.
- Comportamento: o modelo pode incluir ou não o comportamento do indivíduo e de que forma gradativa.
- Movimento: nesta categoria é indicado a forma como os modelos simulam o movimento dos ocupantes ao longo do edifício. Na maioria dos modelos os ocupantes têm uma velocidade livre (baixa densidade) indicada pelo utilizador ou pela modelação programada.
- Dados do Incêndio: considera a possibilidade que o modelo tem de incorporar dados do incêndio.
- Importação de dados CAD: Possibilidade de receber com entrada arquivos DXF do programa de CAD.
- Visualização: a possibilidade do modelo de apresentar ferramentas de visualização e em que dimensão isto é feito.

- Validação: o modelo é validado ou não através de sua comparação com exercícios simulados de abandono.

Kuligowski (2003, apud Ono, 2010) considera ainda:

- Saída dos dados: a qualidade de saída dos dados fornecidos pelo modelo. (ex. tempo total de evacuação)
- Ferramentas especiais do modelo: a quantidade de fatores que podem permitir simular abandonos mais realísticos. (ex. contra-fluxos e pré-movimentos)
- Limitações do modelo: o modelo pode possuir limitações que inviabilizem sua aplicação no edifício estudado.

Diante dos aspectos apresentados acima, os programas computacionais mais indicados para modelação da edificação em estudo a importação de arquivos CAD e a possibilidade de simulação de fuga com influência do incêndio é o FDS+EVAC para área interna do estádio e, desconsiderando o fator incêndio, o SIMULEX para evacuação das bancadas por suportar qualquer tipo de arquitetura. Porém considerando exclusivamente o fator disponibilidade, o estudo será realizado utilizando FDS+EVAC.

De entre todos os aplicativos computacionais de modelação de incêndios citados por Dehaan (2007), como efetivos na tarefa de testar cenários de incêndios, ele indica o FDS como ferramenta para realizar esta tarefa por conta de sua precisão.

4.1 Simulação da Evacuação - FDS+Evac

O Fire Dynamics Simulator (FDS) é um modelo computacional de dinâmica de fluidos (CFD - computational fluid dynamics) de propagação de incêndio por fluxo de fluido. O software resolve numericamente as equações de Navier-Stokes equações apropriadas para condução de fluidos térmicos lentos, com ênfase no transporte de fumo e calor de incêndios. O FDS foi desenvolvido com o intuito de resolver problemas práticos provocados por incêndios na engenharia de proteção contra incêndios e ao mesmo tempo fornecer uma ferramenta para o estudo da dinâmica do desenvolvimento de incêndios. O Smokeview é um programa de visualização dos resultados da simulação do FDS.

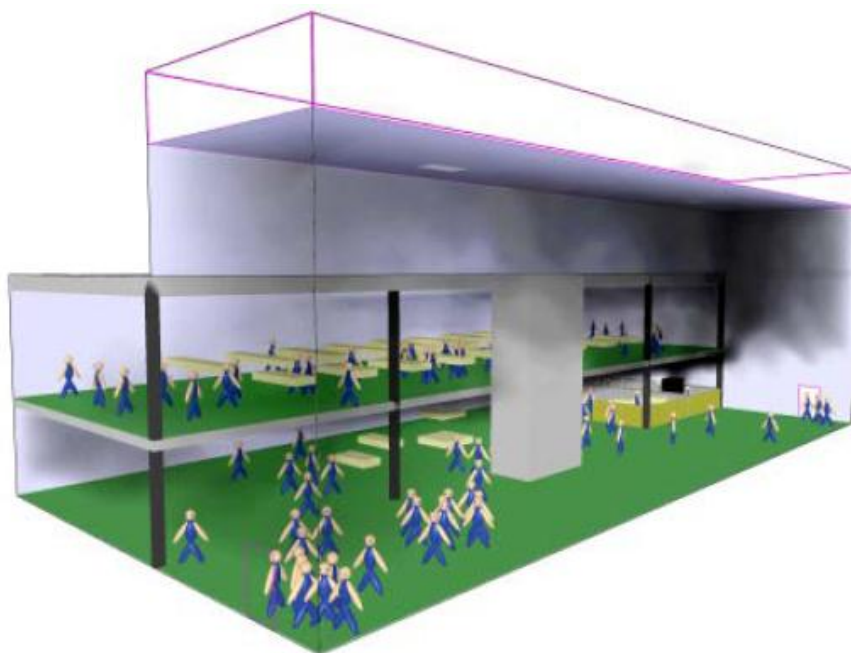


Figura 31 – Exemplo de visualização do FDS+Evac, (Korhonen; Hostikka, 2010).

O Smokeview é uma avançada ferramenta científica desenvolvida para visualizar as previsões numéricas geradas pelo FDS. Este aplicativo permite visualizar, por meio de animação gráfica e desenhos estáticos, a variação do fenômeno incêndio ao longo do tempo.

Segundo Mcgrattan et al (2009) são variáveis calculadas pelo FDS:

- Temperatura interna e externa.
- Fluxo de calor de radiação e convecção.
- Taxa de queima.
- Vapor de água por unidade de área.
- Temperatura do gás.
- Velocidade do gás.
- Concentração de cada gás.
- Concentração de fumo e visibilidade.
- Pressão.
- Liberação de calor por unidade de volume.
- Fração de mistura.
- Densidade do gás.
- Vapor de água por unidade de volume.

Segundo Coelho (2010), durante um incêndio os ocupantes podem ter comportamentos que se afastam do desejado, sendo o mais grave de todos o pânico. Sendo que o movimento das pessoas juntamente com seu comportamento influenciam o tempo de evacuação dos edifícios.

A estimativa dos tempos de percurso em situação de emergência se torna complexa pela influência dos fatores ligados ao incêndio: temperatura elevada, gases tóxicos, fumo, chamas, entre outros. A presença do incêndio altera o emocional e, com isto, o tempo de evacuação.

O tempo de fuga pode ser calculado por modelos computacionais, sendo assim, ferramentas importantes para avaliação dos projetos de arquitetura. O tempo necessário para evacuação, de acordo com (Fahy, 2002), deve ser menor que o disponível para fuga, devendo ser estimado usando modelos de propagação do fogo, em caso de incêndio, ou mesmo de risco de colapso estrutural, em situações de terremotos.

Os modelos computacionais de incêndio determinam as condições de sobrevivência do ambiente frente ao desenvolvimento do incêndio e os modelos computacionais de evacuação de pessoas predizem o movimento dos ocupantes do prédio em caso de fuga. O uso em conjunto destes modelos pode favorecer a prevenção de riscos ainda em fase de projeto (Braga, 2010).

O software FDS+Evac é o módulo de simulação de evacuação do Fire Dynamics Simulator (FDS) e foi desenvolvido pelo Technical Research Centre of Finland.

O modelo de simulação do FDS+Evac é disponibilizado de forma livre e gratuito. O FDS utiliza um modelo de campo para simulação de desenvolvimento de incêndio e comportamento dos produtos da combustão. Desta feita, o Evac também se baseia em um modelo de campo e considera inicialmente o comportamento de cada indivíduo como uma partícula de fluido em escoamento.

Neste modelo cada ocupante é considerado como um indivíduo, com características próprias. O algoritmo de movimento é tratado por uma equação de movimento para cada indivíduo de forma contínua no tempo e no espaço, como uma dinâmica molecular artificial. As forças que agem sobre os indivíduos são de natureza físicas dadas pelas condições ambientais e influenciadas pelos outros indivíduos.

Cada simulação com FDS+Evac apresenta resultado diferente, por este utilizar fórmulas estocásticas para determinar as propriedades dos indivíduos e as dimensões do seu corpo, bem com as velocidades de evacuação e utiliza o programa de visualização tridimensional Smokeview (Ono, 2010).

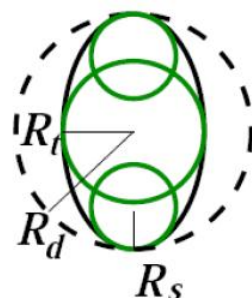


Figura 32 - Representação superior do indivíduo, (Korhonen; Hostikka, 2010).

4.2 Aplicações de Simulação Computacional em evacuação

A fim de garantir melhor contextualizar o estudo, foi buscado outros trabalhos existentes, nos quais se aplicaram práticas de análise que fazem uso da metodologia baseada em desempenho.

4.2.1 O impacto do método de dimensionamento das saídas de emergência sobre o projeto arquitetônico de edifícios altos

Os métodos de dimensionamento de saídas de emergência em edificações adotados pela norma técnica brasileira pertinente e pelas regulamentações vigentes no Estado de São Paulo são os principais temas de discussão neste trabalho; que tem como objetivo principal analisar seu impacto no projeto de edifícios altos de escritórios e a possibilidade de inserção de novos parâmetros, visando o aprimoramento dos métodos prescritivos de dimensionamento.

Para tanto, o trabalho apresenta uma análise de documentações nacionais e internacionais relativas ao tema, uma análise comparativa dos métodos considerados, além de uma discussão sobre as diferenças conceituais destes com o método de dimensionamento com base no desempenho.

Para validação dos métodos de dimensionamento de saídas de emergência prescritivos abordados, foram realizadas simulações computacionais da movimentação de pessoas com Softwares utilizados: FDS+EVAC e BUILDINGEXODUS, cujos resultados visaram a uma análise de sua influência especificamente no abandono de edifícios altos. Os diferentes critérios de dimensionamento de saídas de emergência levam a valores significativamente diferentes de larguras e quantidades de saída que, evidentemente, resultam em diferentes soluções de projeto.

Os resultados das simulações computacionais demonstram que para situações simples, ou seja, onde há somente deslocamento horizontal ou com poucos pavimentos, os valores de dimensionamento dos métodos prescritivos são conservadores, tendo como consequência, medidas suficientes para o abandono seguro, considerando-se a adoção de fatores de segurança.

No entanto, para situações mais complexas, ou seja, o abandono por meio de escadas em edificações de múltiplos pavimentos, estes mesmos valores podem não ser suficientes para garantir uma saída rápida e segura dos seus ocupantes. O ponto crítico do movimento de abandono em edifícios altos está no reduzido fluxo de pessoas no interior de escadas.

Especificamente, para o projeto de saídas de emergência de edifícios altos, é necessária a adoção de estratégias de abandono ordenado dos pavimentos, uma vez que as dimensões de escadas e patamares, para uma situação de abandono total e simultâneo, deveriam ser gigantescas para se garantir o movimento contínuo das pessoas. Essa informação não está presente em nenhum dos documentos prescritivos em vigor.

Desta forma, fica claro que os critérios para dimensionamento dos caminhos de saída verticais não podem ser os mesmos para toda faixa de edificações como considerado nos documentos analisados, sem uma clareza sobre as diferenças em estratégias de abandono que devem ser consideradas nestas situações (Ono, 2010).

4.2.2 Aplicação do FDS+EVAC para validação de requisitos normativos de saídas de emergência e comparação com parâmetros de desempenho

Neste caso (Braga, 2010) emprega o aplicativo FDS+EVAC para obter a influência de fumo na fuga das pessoas e a eficiência de preceitos normativos. Para isso o estudo foi realizado em um prédio virtual com características típicas da destinação de escritórios.

O programa utilizado para modelar o comportamento de pessoas (FDS+EVAC) é gratuito e de código aberto. Tal programa permite a implementação de simulações de incêndio e de fuga. A concentração de fumo e dos gases resultantes na simulação do incêndio influencia no movimento e tomada de decisão das pessoas.

A simulação computacional de incêndio e de evacuação foi aplicada a um prédio de escritórios virtual com características representativas das edificações de cidades brasileiras, atendendo às prescrições da NBR 9077. A edificação possui 12 pavimentos e altura de 30,8 m, sendo classificada pela NBR 9077 como alta. A área total construída é de

aproximadamente 8.730 m², dividida em pavimentos tipo com área de 730 m², classificados pela NBR 9077 como de pequeno pavimento (área menor que 750 m²). No estudo de caso apresentado as paredes não contribuíram para a propagação do incêndio, sendo, portanto, o prédio enquadrado como de difícil propagação do fogo.

A primeira simulação realizada usou o módulo de evacuação do FDS num treinamento de fuga, ou seja, sem fogo. Desse exercício simulado de evacuação obteve-se os tempos de saída da população do prédio conforme gráficos 1 e 2, no qual pode se estimar em cerca de 23 min o tempo total de evacuação no exercício simulado e verificar que nenhum dos andares é evacuado em menos de um minuto.

Uma segunda etapa do modelamento envolve a realização de simulações integradas de incêndio e evacuação para verificar a influência de fumo no comportamento de fuga. O fogo é iniciado por uma fonte de ignição num sofá do terceiro pavimento (P2) e é detetado em menos de um minuto. A população gasta até 180 s (tempo de pré-movimento) para iniciar o movimento de saída pela escada que permanece com as portas abertas durante toda a simulação. O gráfico a seguir apresenta a influência das condições do incêndio na evacuação de pessoas:

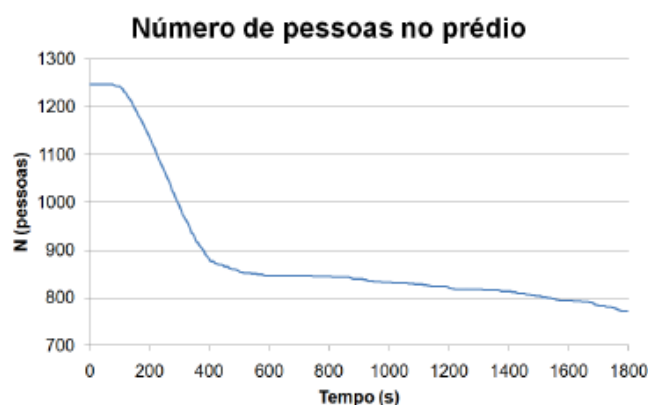


Figura 33 – População total no prédio em situação de incêndio. (Braga, 2010)

O estudo concluiu que a tendência mundial de implementação de legislações baseadas em desempenho, complementando os tradicionais códigos prescritivos, exige o uso de ferramentas de validação de parâmetros normativos e teste de aceitação de soluções na área de saídas de emergência. Por outro lado, a adoção de soluções inovadoras vai exigir sólidos conhecimentos sobre a dinâmica do fogo e o comportamento de fuga para que a construção das hipóteses seja adequada à realidade (Braga, 2010).

4.2.3 Simulação Computacional de Incêndio Aplicada ao Projeto de Arquitetura

Neste estudo Braga (2008) demonstra a aplicabilidade da simulação computacional de incêndio na fase de projeto, com vistas à obtenção de maior grau de segurança contra incêndio em edificações, aliado ao princípio da economicidade. Apresentou-se os métodos probabilísticos e determinísticos utilizados na modelação de incêndios e discutiu-se os modelos computacionais de evacuação de pessoas.

Finalizando o estudo de caso com um prédio comercial típico de cidades brasileiras, atendendo às prescrições da NBR 9077. Foram executados associadamente os aplicativos FDS (dinâmica do fogo) e SIMULEX (evacuação de pessoas) para obter a influência da fumaça e da temperatura na fuga das pessoas e a eficiência dos preceitos normativos.

Concluiu-se que as simulações computacionais de incêndio e de evacuação constituem importantes ferramentas para elaboração de projetos, pois permitem levar em consideração a escolha dos materiais, distribuição dos espaços e comprovação do que prescreve a norma, além de possibilitar a adoção de soluções alternativas personalizadas de baixo custo, atendendo aos objetivos da segurança contra incêndio.

No estudo de caso ficou comprovado que, apesar de a NBR 9077 estabelecer que a capacidade da unidade de passagem é de 60 pessoas por minuto pelas escadas e 100 pessoas por minuto pelos corredores e portas, gastou-se 7min30s para total evacuação do edifício, e isso contradiz a norma mesmo seguindo as prescrições de dimensionamento das escadas. (Braga, 2008)

Segundo o autor, outro ponto observado foi a queda dos níveis de fumaça após o fechamento das portas corta-fogo durante a evacuação. Uma ferramenta de fácil utilização é o SIMULEX, que em suas menções possibilita a visualização do movimento das pessoas quando na ocorrência de uma emergência.

Outra ferramenta importante que representa a evolução do incêndio, apresentando a movimentação de fumaça no edifício, além de possibilitar a interface com a evacuação dos ocupantes é o software americano FDS (Fire Dynamics Simulator).

4.2.4 A Questão do Escape em Edifícios Altos: A Influência da Fumo de Incêndio na Proteção da Vida

O presente estudo destaca como problema a estratégia bioclimática de ventilação natural aplicada a estes edifícios nas estratégias de Segurança contra Incêndio, como influência na propagação de fumo. O fumo, conseqüentemente, influencia no movimento de evacuação dos ocupantes da edificação. Os edifícios altos são as construções mais preocupantes em relação ao escape seguro, sem ferimentos e mortes, pois, além de comportarem um número maior de pessoas, o tempo gasto para saída é maior, comparando-se a edificações térreas ou mais baixas.

Através da utilização de um software de simulação de incêndio e do movimento de evacuação, percebeu-se que na criação de uma área protegida no pavimento da edificação, seria possível aumentar o tempo de escape sem prejudicar a existência da ventilação natural no edifício e foi possível demonstrar que as estratégias bioclimáticas podem ser aplicadas ao edifício garantindo, ao mesmo tempo, um ambiente confortável e seguro. (Alves, 2010)

4.2.5 Desenvolvimento de Modelo para Simulação de Situações de Evacuação de Multidões

O estudo buscou analisar os movimentos, tendências e velocidades de escoamento de aglomerações humanas em situações de congestionamento. As situações de fugas em pânico, sempre impregnadas com muitas e complexas variáveis, foram reduzidas a protótipos que se assemelham em sua essência com a realidade. Em muitas situações do dia-a-dia será possível aplicar os resultados obtidos no estudo, como no dimensionamento de cinemas, teatros e centros de entretenimento. O foco foi em melhorar os níveis de conforto dos usuários do sistema minorando seu tempo de exposição a situações de congestionamento. (Steinberg, 2005)

O objetivo foi a modelação das situações de evacuação, e o estudo mecânico e psicológico do comportamento coletivo. Para isso, foi realizada uma pesquisa bibliográfica para levantamento das variáveis, mecânicas e psicológicas, que influenciam no processo de evacuação. A análise crítica e processamento destas informações definiram como se pode alterar ou anular variáveis envolvidas com a finalidade de minimizar o tempo de fuga e reduzir acidentes e níveis de pânico na multidão.

A teoria dos autômatos celulares, a qual servir de base para o estudo, segundo Steinberg (2005) ajuda na modelação de sistemas onde existe toma de decisão. Para realização do

estudo são adotadas algumas premissas, baseadas nos estudos de Helbing e Molnár (1995), onde se afirma que “em situações de fuga e pânico existem algumas regras de comportamento padrão:

- As pessoas movimentam-se mais rápido que de costume;
- Os indivíduos começam a empurrar em todas as direções;
- Nas saídas, espesinhamento e empurra-empurra são observados;
- A movimentação e a passagem por gargalos torna-se desordenada;
- Nascem engarrafamentos;
- As interações físicas na massa engarrafada crescem, levando a pressões perigosas;
- A fuga é condicionada por pessoas caídas que funcionam como obstáculos;
- As pessoas apresentam uma tendência a fazer o que os outros fazem;
- Saídas alternativas passam normalmente despercebidas ou são usadas ineficientemente.

Helbing e Molnár (1995, apud Steinberg (2005),) sugerem aumento das larguras das rotas de fuga em estádios para evitar tempos longos de espera e desproporcionais para pessoas no fundo e ondas de choque devidas à impaciência. Sugerindo ainda, a instalação de geometrias em zig zag e colunas para reduzir a pressão interna em multidões em pânico.

Como resultado final, foi desenvolvido um modelo que permite a realização de simulações de situações de evacuação de multidões. São apresentados também alguns exemplos, aplicações desta modelação, capazes de auxiliar arquitetos e engenheiros na busca por soluções em projetos de grandes instalações.

4.2.6 Simulação de Evacuação de Multidão por Autômato Celular: Estudo de Caso em um Estádio de Futebol

A evacuação de locais aglomerados é sujeita a restrições físicas e temporais, uma questão que merece atenção especial e cita a simulação de evacuação de multidão como importante para tentar minimizar os tipos de risco. Como a simulação real em situações de emergência é raro, caro e de difícil execução, o uso de ferramentas computacionais se torna uma boa alternativa. (Carneiro, 2012)

Os estádios de futebol são exemplos de ambientes que podem apresentar risco para vidas das pessoas no caso de evacuação em emergência. O objetivo geral do estudo foi ganhar compreensão sobre os aspectos inerentes ao problema, sendo proposto para isto um novo

modelo para evacuação de multidão baseado no modelo de autômatos celulares. O trabalho teve como resultado a confirmação que o modelo proposto foi capaz de simular a evacuação em ambientes complexos de forma eficiente.

A autora afirma ainda, que de uma maneira simplificada a teoria dos autômatos celulares, consiste em um sistema de células, cada uma em um determinado estado, que se altera ao longo do tempo, Segundo certas regras. O estado seguinte de uma célula depende do seu estado atual e dos estados das células na sua vizinhança.

O estádio constituído para análise tem capacidade superior a 25.000 pessoas, distribuídos em dois níveis para espectadores. Para efeito de simulação foi considerado apenas um quadrante do nível superior do estádio, apesar da simulação ter sido realizada para um quadrante do nível superior do estádio, foi verificado que não apresentava diferença considerável para simulação do estádio completo devido a proporcionalidade do número de saídas e de pessoas. (Carneiro, 2012)

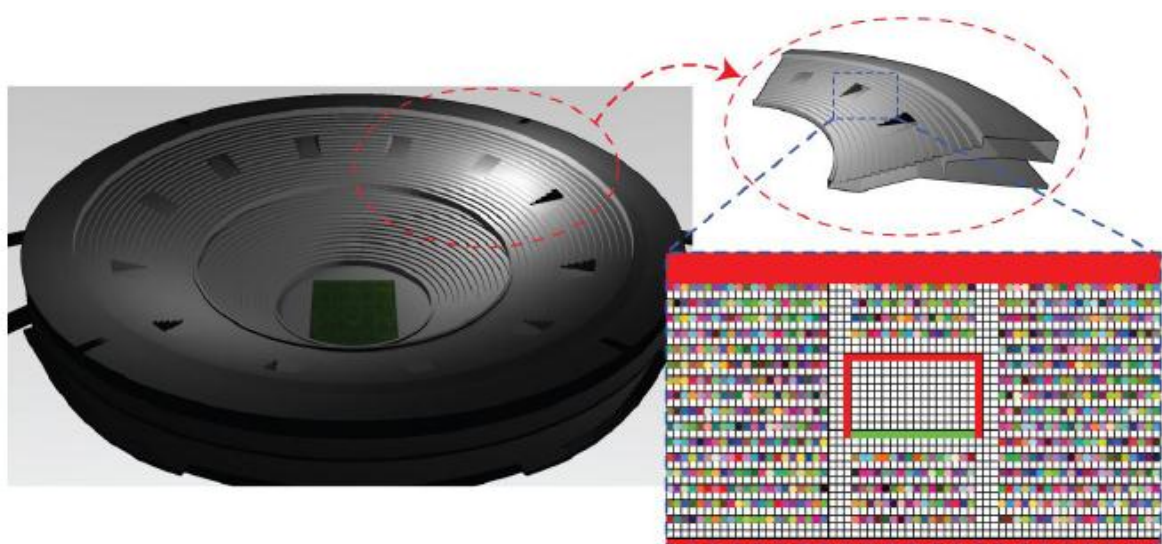


Figura 34 – Estádio de futebol modelado com destaque para o quadrante utilizado na simulação e a sua representação na grade celular bidimensional, (Carneiro, 2012).

4.3 Considerações Finais

A evacuação de pessoas num edifício está relacionada com a geometria da edificação, comportamento das pessoas e a existência de um incêndio. Portanto, num projeto com base numa análise de desempenho através de modelação computacional deve ter em linha de conta estes três fatores.

As aplicações de modelos computacionais e parâmetros de desempenho apresentadas indicam como favorável o uso desta ferramenta como forma de simplificar as análises complexas, como é o caso da evacuação aos estádios de futebol e comparação com as análises prescritivas. Para tanto, devia ser escolhido o modelo que melhor se aplica a cada situação.

Para o caso em estudo, o programa a ser utilizada foi o FDS+EVAC, pois este aceita arquivos CAD, introduz-se a geometria da edificação estudada e modela tanto o incêndio como a evacuação de pessoas. No entanto, o fator principal a ser considerado na escolha foi a disponibilidade do programa.

Para a análise em questão, adotou-se a mesma simplificação feita por Carneiro (2012), onde foi considerado apenas um quadrante do nível superior do estádio e foi verificado que não havia diferença para simulação do estádio completo.

De seguida apresenta-se a análise de desempenho e prescritiva no Estádio Arena Castelão, sendo este o principal objetivo deste estudo.

5. CASO DE ESTUDO

Segundo a Revista Proteger Nº 7, 2010, devido à sua complexidade arquitetônica e importância da edificação, ocorreram dois casos onde além da análise prescritiva e de desempenho dos projetos, também houve um acompanhamento por parte das autoridades de todo o processo desde da fase de projeto até funcionamento do edifício, nomeadamente:

- Estádio “Ninho de pássaros”, China;
- Estádio de Leiria, Portugal.

Tal como ocorreu nos dois casos acima citados, também o Estádio Plácido Aderaldo Castelo (Arena Castelão, Brasil) teve um acompanhamento por parte das autoridades e bombeiros desde a sua fase de elaboração do projeto de segurança contra incêndio até à sua aplicação final na referida construção.

Com intuito de contextualizar a metodologia de estudo adotada, será descrito de forma resumida, a metodologia adotada nos dois casos citados. Após isso, será apresentado o estudo de caso pretendido.

5.1 Estádio Ninho dos Pássaros (China)



Figura 35 – Ninho dos Pássaros, (Revista Proteger Nº 7, 2010).

Segundo Revista Proteger (2010), um dos 31 estádios e ginásios de competição da olimpíada de 2008 na China, o Ninho dos Pássaros foi sujeito a exigentes critérios de proteção antissísmica e de segurança contra incêndio. Sendo que, no caso de segurança contra incêndios, um dos critérios passou pelo facto de que em caso de incêndio, a deterioração de diversos elementos da edificação, poderia ocorrer sem ocorrer o colapso global da estrutura.

Projetado inicialmente para um efetivo de 80.000 pessoas, o estádio tem, hoje, uma capacidade de ocupação de 110.000 pessoas, tornando-se um bom exemplo da aplicação de uma metodologia de dimensionamento baseada no desempenho. Além disso, o projeto, aparentemente, não cumpre os requisitos exigidos no Código Nacional Chinês baseado em requisitos prescritivos. Esta afirmação é feita com base numa afirmação proferida por Mariana Foley, sócia da Arup Fire em Sydney, Austrália, colaboradora do projeto de segurança contra incêndio:

“A China não tem um projeto baseado no desempenho, mas depressa reconheceu que os locais olímpicos eram de tal forma especiais, que a aplicação de um código prescritivo não se revelava adequada. Aonde não se consegue cumprir com a legislação prescritiva, devíamos demonstrar, utilizando a engenharia de segurança contra incêndios, que o projeto era seguro.”
(Revista Proteger Nº 7, 2010)

Assim, através de um processo de negociação com as autoridades chinesas. Nos casos em que manifestamente a legislação prescritiva se manifestava desajustada, foram aplicados os critérios da NFPA e do Guide to Safety and Sports Grounds (Guide Green) baseado no desempenho.

No estádio de futebol ninho de pássaros, um dos critérios que foi adotado com base numa análise de desempenho, foi o critério de: saídas de emergência. A legislação chinesa prevê que, nos estádios de futebol, este tem que ser dividido em diferentes zonas e que cada zona tem que ter o seu próprio caminho de evacuação e deve, também, garantir um tempo de evacuação entre 4 a 5 minutos. Isto implicaria que o estádio teria um elevado número de saídas e, como consequência, levaria à inviabilização deste projeto.

Os idealizadores deste projeto, decidiram apoiar-se nas normas britânicas para estádios de futebol como linhas orientativas para o dimensionamento dos caminhos de evacuação e adotaram um tempo de oito minutos como parâmetro para estabelecer o número mínimo de saídas de evacuação.

O projeto final do Ninho dos Pássaros, assim como de outros cenários da olimpíada de Pequim 2008, foi resultado de um trabalho fundamentado no dimensionamento com base no

desempenho e que contou com a colaboração dos projetistas e Corpo de Bombeiros local. Ou seja, ocorreu através do diálogo e troca de conhecimentos entre estes durante todo o processo de planejamento até à execução.

5.2 Estádio de Leiria (Portugal)



Figura 36 – Estádio de Leiria, (Revista Proteger Nº 7, 2010).

Segundo Revista Proteger (2010), a elaboração do projeto de segurança para o Estádio Dr. Magalhães Pessoa revelou-se um grande desafio, pois considerou-se um elevado número de espetadores, ou seja, um público de 30.000 pessoas, entre espetadores, pessoal, desportistas, jornalistas e outros, tendo sido colocados diferentes cenários de emergência, como um incêndio, vandalismo, terrorismo e controlo de multidões.

Para elaboração de um projeto deste tipo tem que se considerar duas situações distintas, a realização durante o evento (desportivo, musical, etc.) e a segunda situação, presente em 95% dos casos, durante o funcionamento normal (ausência de evento). O cenário normal, sem evento desportivo, não exige controlo de multidões, mas sim a segurança relacionada a determinados acessos do estádio, roubos e atos de vandalismo. Durante a realização de um evento a situação muda, pois é necessário o controlo de público, acessos, vias de evacuação adequadas, ou seja, uma maior atenção com a segurança e prevenção de acidentes.

A segurança neste tipo de edifícios começa no estudo arquitetónico garantindo a circulação nas entradas e saídas de público, compartimentação de diferentes locais de risco do recinto, circulação nas bancadas, entre outras. Todos os locais de risco (loja, museu, estacionamento, e áreas administrativas) foram isolados através de compartimentação corta-fogo, ficando independentes entre si.

O dimensionamento dos caminhos de evacuação deu-se tendo em vista os requisitos previstos no “Regulamento das Condições Técnicas e de Segurança dos Estádios”, Decreto Regulamentar Nº 10/2001, de 7 de Julho. Sendo também consideradas as diferentes legislações de diferentes países.

No regulamento referido anteriormente, está prevista a determinação do efetivo, distâncias a percorrer e larguras mínimas nos caminhos de evacuação. Os tempos de evacuação foram estabelecidos através de métodos de cálculo e através de conhecimento prático com intuito de estabelecer um limite máximo de 8 minutos para evacuação do edifício.

Relativamente à evacuação nas bancadas, estas foram divididas em 7 setores com percursos individuais de evacuação, dimensionados com base no respetivo público total a evacuar.

No dimensionamento do sistema de circulação de espectadores, teve-se em especial atenção dois critérios. O primeiro é a segurança do público nas escadas das bancadas superiores onde o ângulo de inclinação é 34°, mais dez graus que as bancadas inferiores, necessitando que fossem vencidos grandes desníveis nas próprias bancadas. Se o número de degraus for elevado, cria-se a sensação de insegurança e possibilidade de queda em cadeia, principalmente em emergência. A situação foi estudada com cuidado para reduzir este risco.

Outro fator considerável no dimensionamento das bancadas, prende-se com a devida identificação dos caminhos de evacuação, pelo que se optou por assinalá-los com cor verde facilitando assim a sua identificação.

Foi instalado um sistema de gestão de portas de emergência e, em caso de incêndio, os alarmes são difundidos através de uma mensagem verbal sonora, estabelecida por zona, evitando pânico geral nas bancadas do estádio.

5.3 Estádio Plácido Aderaldo Castelo (Arena Castelão)

Capital do Estado do Ceará, Fortaleza (cidade onde se localiza o estádio de estudo) é a 5ª cidade mais populosa do País, com aproximadamente 2,5 milhões de pessoas, situada na Região Nordeste do Brasil. Fortaleza está localizada a 4h30min do continente Africano e a 6h30 min da Europa.



Figura 37 - Estado do Ceará, (SECOPA, 2010).



Figura 38 - Fotografia aérea do Castelão (SECOPA, 2010).

- Área total construída: 162.600,00m²
- Área total do terreno: 230.045,00m²
- Museu do futebol: 1.500m²
- Área da cobertura do público: 55.000m²
- Área da praça elevada de público: 57.000m²
- Capacidade: 63.503 espetadores
- Estacionamento: 1.900 vagas

Em 1968, Aderaldo Castelo, então governador do estado do Ceará, deu início à construção de um estádio olímpico em Fortaleza. O Estádio Governador Plácido Castelo, hoje conhecido como Arena Castelão, ou simplesmente Castelão. Na inauguração do estádio, em 11 de novembro de 1973, possuía uma capacidade para 70.000 pessoas e dois lanços de bancadas.

O estádio foi reformulado em 2002, no entanto, acabou por ser totalmente reestruturado em 2012, tendo em conta o Mundial de futebol de 2014. Após esta última reestruturação a capacidade do estádio para receber público passou de 70.000 para 63.503 pessoas.

O projeto de reestruturação transformou o estádio numa edificação multiusos, moderna e autossustentável. O campo foi rebaixado e a bancada inferior avançou trinta metros. A distância entre público e jogadores é de apenas dez metros. De qualquer ponto do estádio, é possível ter uma visão completa do campo.

As bancadas possuem assentos rebatíveis e foram concebidas para não permitirem a propagação de chamas em caso de incêndio e 1.675 cadeiras são para uso exclusivo para pessoas com deficiência ou obesas.

As medidas de segurança contra incêndio implementadas no estádio serão apresentadas a seguir e o sistema de evacuação analisado.

5.4 Métodos de avaliação

5.4.1 Análise Prescritiva

Além de uma análise prescritiva foi feita por uma equipa de analistas pertencente ao Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Ceará, onde o realizador desta dissertação fez parte, trabalhando em conjunto com equipa de conceção e desenvolvimento do projeto referente ao Estádio Plácido Aderaldo Castelo - Estádio Castelão.

A legislação adotada para avaliação do projeto no que diz respeito às saídas de emergência foi a NT 03 (CBMCE, 2008) para as áreas das bancadas e a NT 05 – Saídas de emergência (CBMCE, 2008) para locais internos. Porém, tal como foi possível perceber nos capítulos anteriores, estas estabelecem critérios baseados na NBR 9077 e na Nota Técnica de Referência para Prevenção Contra Incêndio e Pânico em Estádios e Áreas afins (Ministério da Justiça, 2012), sendo esta última elaborada para o mundial de futebol e estando em conformidade com o “Guide to Safety at Sports Grounds” (Green Guide).

Desta feita, embora se utilize uma legislação local, o estudo pode servir de apoio e/ou comparação a qualquer estudo de caráter mundial.

Para o enquadramento e dimensionamento de outros sistemas de segurança contra incêndio, recorreu-se, exclusivamente, às normas locais, tendo em vista o que indica a NT 01 – procedimentos administrativos (CBMCE, 2008), onde a edificação é classificada como do Grupo F (Estádio de futebol) e foi exigido os seguintes sistemas:

- Acesso de viaturas;
- Iluminação de Emergência;
- Sinalização de emergência;
- Saída de emergência;
- Extintores de incêndio;
- Sistema de alarme de incêndio;
- Detecção de incêndio;
- Sistema de proteção contra descargas atmosféricas (para-raios);
- Canalização preventiva;
- Chuveiros automáticos;
- Hidrante urbano;
- Central de gás;
- Brigada de Incêndio.

Processo de análise foi feito em cinco etapas, gerando quatro relatórios de correção e o Certificado de Aprovação de Projeto, documento emitido pelo Corpo de Bombeiros após aprovação de um Projeto de Segurança Contra Incêndio e Pânico – PSCIP.

- Relatório de correção 3970, de 20 de Junho de 2011;
- Relatório de correção 4143, de 05 de Julho de 2011;
- Relatório de correção 5297, de 04 de outubro de 2011;
- Relatório de correção 7102, de 13 de fevereiro de 2012.

Não foram catalogadas e descritas as falhas detetadas durante o processo de acompanhamento de projeto referente as medidas de segurança contra incêndio em geral, o estudo direciona-se ao critério saída de emergência, porém o Quadro 9 indica a totalidade dos quantitativos.

Quadro 9 – Erros detetados ao longo das diferentes fases de análise do projeto do Estádio Castelão.

	Relatório 3970	Relatório 4143	Relatório 5297	Relatório 7102	Total
Acesso de viaturas	01	01	03	00	05
Iluminação de Emergência	01	04	00	01	06
Sinalização de emergência	02	00	01	00	03
Sistema de alarme de incêndio	00	01	04	02	07
Deteção de incêndio	00	01	01	00	02
Para-raios	02	00	04	00	06
Extintores de incêndio	00	00	03	00	03
Canalização preventiva	07	02	05	02	16
Saída de Emergência	04	02	23	08	37
Chuveiros automáticos	04	04	02	01	11
Hidrante urbano	01	01	00	00	02
Central de gás	01	02	00	01	04
Brigada de Incêndio	01	00	00	01	02
Outros	08	03	09	05	25
TOTAL	32	21	55	21	129

Da análise do quadro 9, verifica-se que não ocorreu um decréscimo linear das exigências, como seria esperado. Isto deve-se ao facto de que nem sempre se pretendeu alterar uma exigência direta, mas sim apresentar um novo sistema ou parte de um sistema que ainda não tinha sido apresentado anteriormente aumentando assim a probabilidade de haver novos erros.

Além disso, também houve necessidade de se proceder à mudança do projeto de arquitetura pelo que isso provocou alterações diretas na avaliação dos caminhos e saídas de evacuação

O Relatório de alteração 5297, de 04 de Outubro de 2011, representou um aumento considerável no número de erros referentes às saídas de emergência. Isto ocorreu por que nesse momento da análise foi apresentado partes do projeto não apresentadas até então e apresentação da uma simulação de evacuação de pessoas deste estádio modelação.

O sistema de saídas de emergência foi o que apresentou mais falhas durante a análise do processo de emergência (28,6% do total de falhas encontradas nos quatro relatórios de correção. A constatação deste facto sugere que houve uma falha na conceção do projeto inicial de arquitetura e a necessidade de acompanhamento de um profissional de segurança contra incêndio desde seu início.

Segue de forma cronológica, e não contabilizando as repetições sucessivas entre os vários relatórios de correção, os critérios referentes a saídas de emergência que apresentaram erros no decorrer da análise do projeto do estádio:

- Ausência ou erro no cálculo das saídas de emergência (dimensionamento e distância a percorrer);
- Inclinação irregular de rampas;
- Corrimões de escadas descontínuos (ver correção na figura 39);



Figura 39 – Fotografia de um corrimão da escada do estádio.

- Tempo máximo de evacuação acima de 8 minutos determinado por norma;
- Público máximo por sectores não apresentado;
- Indicar as saídas de emergência e sinaliza-las (ver correção na figura 40);



Figura 40 – Fotografia de uma placa de saída de emergência do estádio.

- Pormenores construtivos das escadas não conformes;
- Caminhos de evacuação não indicados;
- Ausência de corrimões nas bancadas e vomitórios (ver correção na figura 41);

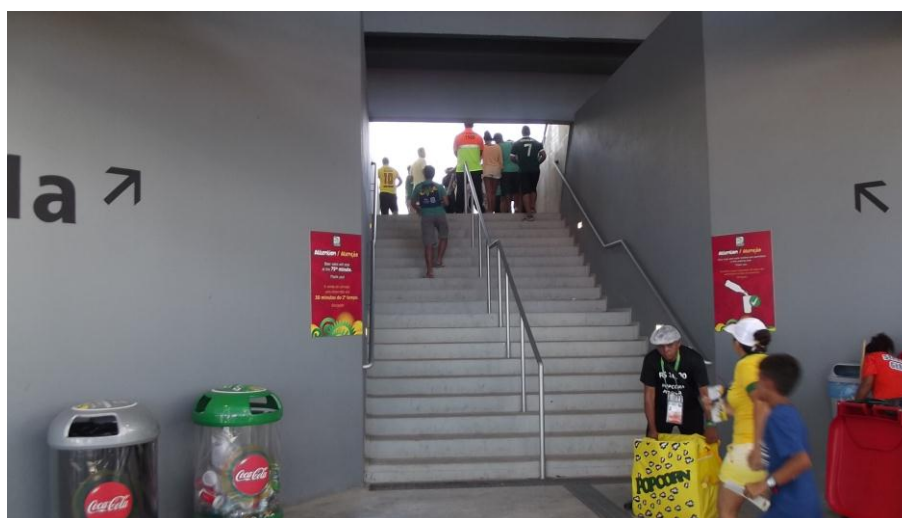


Figura 41 – Fotografia de uma entrada do vomitório do estádio.

- Presença de cantos e arestas vivas nas rampas e caminhos de evacuação;
- Afunilamento dos caminhos de evacuação;
- Inclinação da bancada diferente do que se encontra prescrito na norma;



Figura 42 – Fotografia com visão geral da bancada do estádio.

- Ausência de barreiras retardantes nas áreas exigidas (ver correção na figura 43);

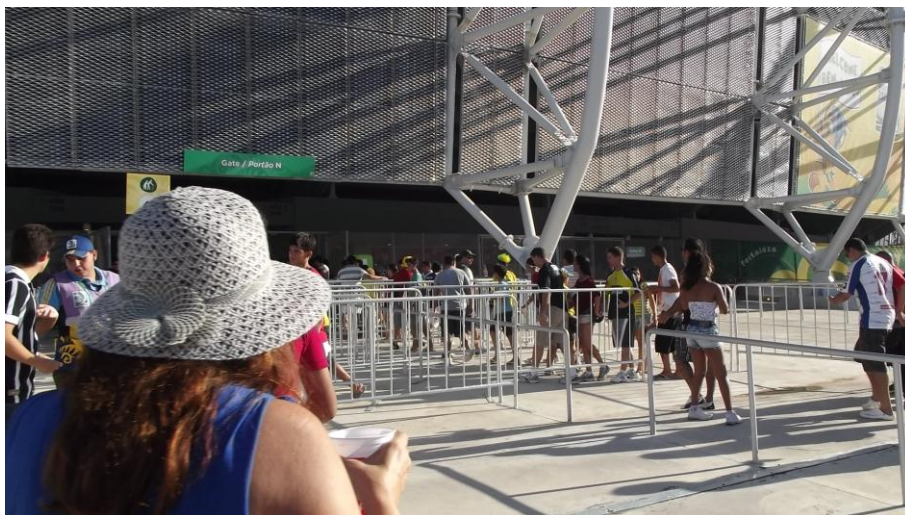


Figura 43 – Fotografia das barreiras retardantes na entrada do estádio

- Ausência da designação de cada sector e respetiva lotação
- Falta de corrimões em escadas com uma largura superior a 2,40 m (ver correção na figura 44)



Figura 44 – Fotografia de uma escada de entrada do estádio com corrimões a 2,40 m.

- Distância das saídas de emergência a áreas com reunião de público internas, inferior a 5 m;
- Largura das portas de saída de emergência diferente do calculado;
- Ausência de corrimão nos acessos radiais às bancadas (ver correção na figura 45);
- Largura da primeira fila de cadeiras da bancada diferente do exigido pela norma.



Figura 45 – Fotografia da bancada do estádio com um corrimão nos acessos radiais.

5.4.2 Modelação de Multidões

Este capítulo foi desenvolvido tendo como os padrões adotados no Guide to Safety at Sports Grounds (Green Guide) e no relatório de Modelação de Fluxo de Multidões do Estádio Castelão apresentado pela Fédération Internationale de Football Association (FIFA).

Os parâmetros prescritivos para a análise ao projeto do estádio de futebol, descritos anteriormente foram feitos considerando a legislação local, ou seja, a Nota Técnica de Referência em Prevenção Contra Incêndio e Pânico em Estádios e Áreas afins (Ministério da Justiça, 2012). Ressaltando que a legislação normalmente não adota critérios baseados no desempenho, o uso dos resultados deste trabalho serviram apenas de apoio à análise desenvolvida pelos órgãos responsáveis pela sua avaliação.

5.4.2.1 O projeto do estádio

O projeto é distribuído em cinco níveis diferentes, sendo distribuídos conforme Quadro 10 e tendo seus desníveis indicados pela Figura 46.

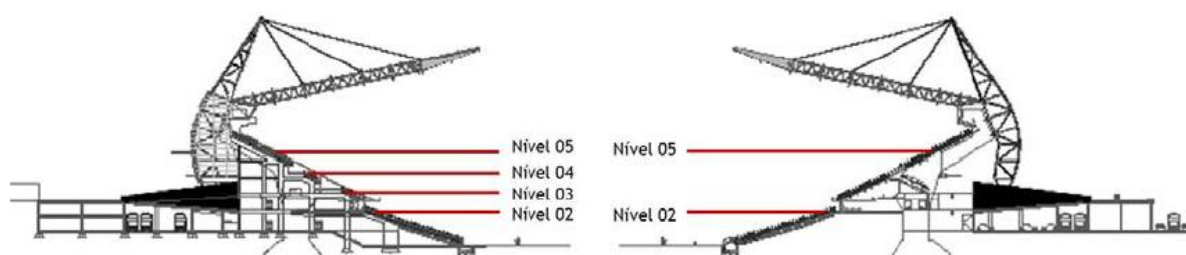


Figura 46 – Níveis do estádio

Quadro 10 – Quantidade expectadores – Copa do Mundo

	PÚBLICO	HOSPITALIDADE	VIP	VVIP	MÉDIA	TOTAL
NÍVEL 5	35.882				2.381	38.263
NÍVEL 4		512				608
NÍVEL 3		720				720
NÍVEL 2	19.159	3.290	992			23.441
TOTAL	55.041	4.522	992	96	2.381	63.032
PERCENTUAL	87,3%	7,2%	1,6%	0,2%	3,8%	100%

O *Podium* (espaço exterior ao estádio mas parte integrante do complexo desportivo) com uma área livre de aproximadamente 37 mil metros quadrados, tem uma capacidade superior à capacidade do estádio de futebol. e está preparado para receber todos os espetadores esperados durante o período do Mundial de Futebol, considerando-se uma densidade de duas pessoas por metro quadrado. É importante destacar que no cálculo do efetivo desta área não se considerou a presença de possíveis áreas prevista para vendas e ou marketing de forma temporária.

O Nível 2 dará acesso à bancada inferior tanto ao setor de público geral como, ao setor oeste da área VIP e hospitalidade. Numa situação normal, os espetadores do público geral podem aceder a este nível por dezassete pontos que se interligam por rampas com a área do *podium*. Para a hospitalidade estão previstos quatro pontos de acesso que também se interligam diretamente ao *podium*.

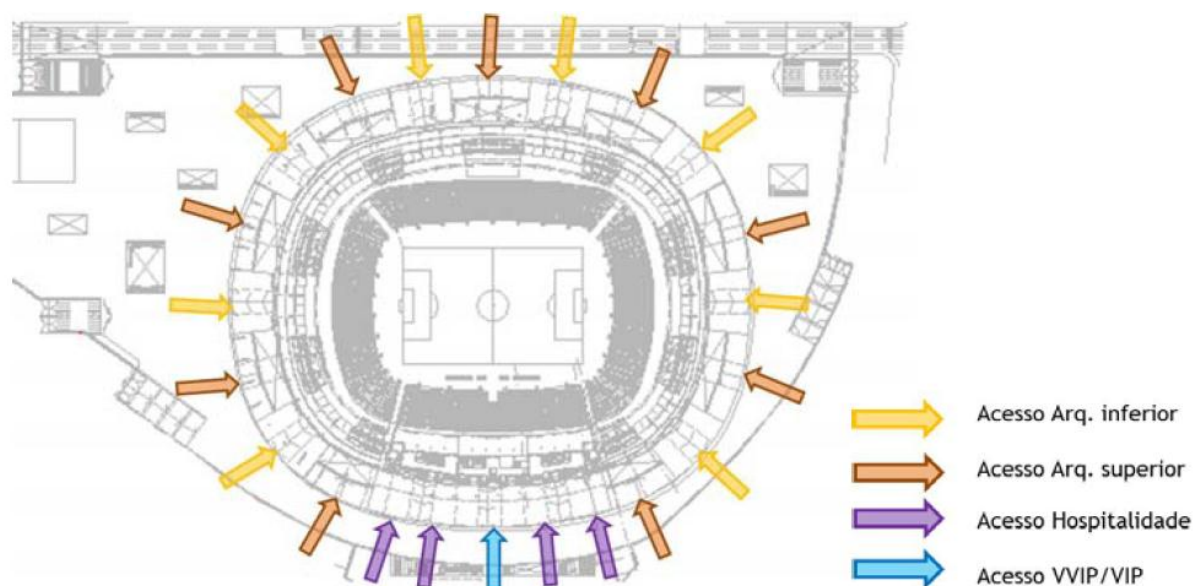


Figura 47 – Pontos de acesso ao estádio.

No nível 3 os setores norte, leste e sul deste nível terão o acesso por escadas à área da bancada superior. Estão previstos dezasseis pontos de acesso interligados, por rampas, ao nível do *podium*.

No nível 4 existem vinte e seis camarotes sendo dois para o público VIP e os demais para a hospitalidade. Para aceder a este nível estão previstos uma escada e dois elevadores exclusivos para VIP's e uma escada e dois elevadores para espetadores de hospitalidade.

No nível 5 norte, leste e sul estão previstos assentos para o público geral. O acesso do público geral será efetuado pelo nível três, como já foi apresentado anteriormente. No setor oeste, ficam os assentos destinados aos profissionais da imprensa desportiva. O acesso ao sector oeste será realizado por uma escada e dois elevadores exclusivos para estes profissionais.

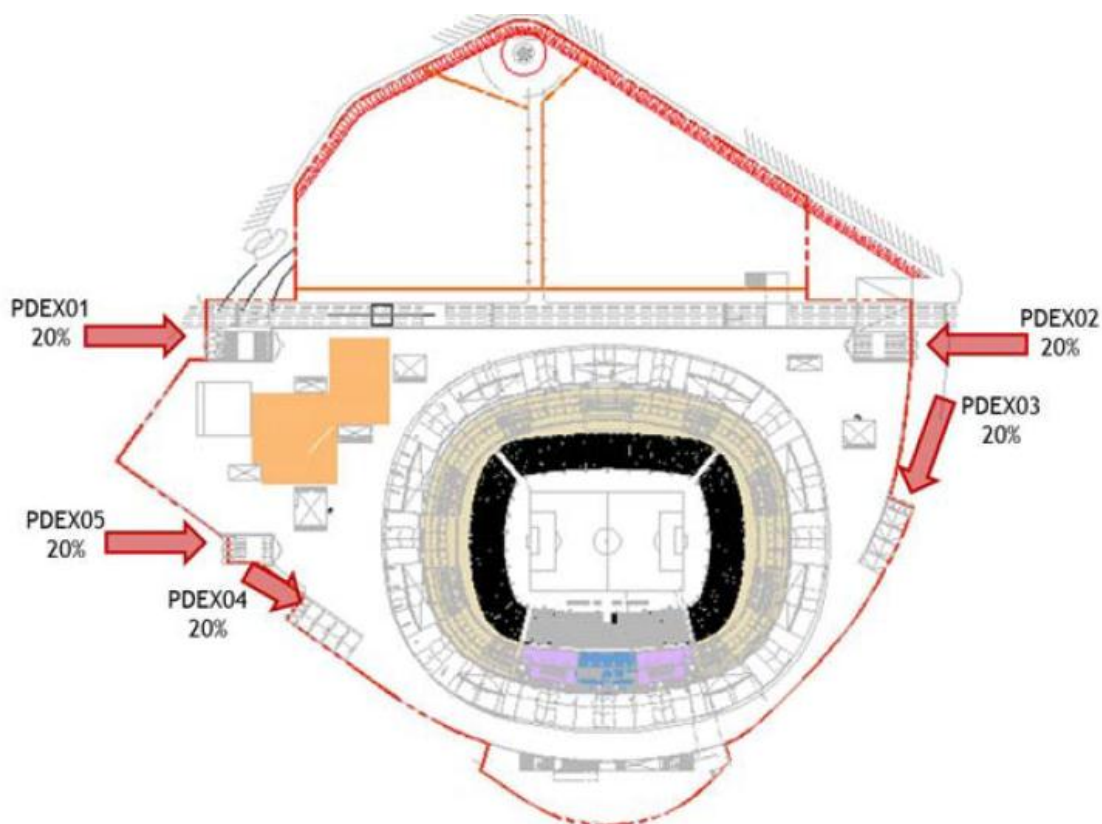


Figura 48 – Pontos de acesso ao *podium*.

5.4.2.2 Metodologia de análise

Neste estudo foi desenvolvida uma avaliação da saída do estádio numa situação de emergência uma vez que, em relação ao desempenho do projeto proposto para o estádio, este é o cenário mais crítico.

A fim de avaliar o desempenho do projeto e o *layout* proposto para o estádio, avaliou-se o deslocamento dos espetadores desde a saída na área de assentos, até ao momento da chegada do último espetador a um local considerado seguro. No caso deste estudo a via pública, foi considerada o ‘local seguro’.

Inicialmente, as áreas de assentos do estádio foram divididas em baias de assentos que tiveram a quantidade de assentos contada individualmente. Depois, cada baia foi associada a um vomitório/rota de saída e então foi obtido o fluxo de saída dos espectadores da área de assentos até a área de circulação, considerando a taxa de fluxo de cada área e as larguras propostas para as rotas de saída.

Cada saída da área de assentos foi analisada para avaliar a sua capacidade real. Por exemplo, a capacidade de um vomitório está relacionada com as rotas que dão acesso ao vomitório e a quantidade de assentos que utilizam naquela rota, e não apenas a largura total do vomitório.

Posteriormente, cada vomitório foi associado a uma rota de saída e foi calculado o tempo de deslocamento para cruzar a área de circulação até esta rota. A velocidade média dos espectadores adotada foi de 38 metros/minuto na área interna do estádio e de 80 metros/minuto na área externa.

Todas as áreas de circulação do projeto foram consideradas áreas ‘relativamente seguras’.

A capacidade de cada rota de saída, e o perfil dos espectadores que circulam por esta rota, e se for o caso, as filas formadas nas áreas de circulação foram calculadas. A capacidade das rotas de emergência e o tempo de deslocamento dentro do estádio foram utilizadas então para desenvolver um perfil de chegada dos espectadores ao nível de saída do estádio.

Os caminhos de evacuação ao nível da saída do edifício foram então associados a um ponto de saída do *podium* e depois à saída do perímetro externo, determinando-se assim o tempo de evacuação total. A capacidade das saídas do estádio e o perfil de chegada dos espectadores aos pontos finais de saída foram utilizados para gerar um perfil de dispersão dos espectadores para cada ponto.

Deste modo, houve necessidade de identificar o período de tempo que cada volume de pessoas demorava até atingir os pontos de saídas. Estes valores foram usados para calcular o tamanho das filas, o tempo de espera e o tempo total para que todos os espectadores estejam num ‘local seguro’.

Parâmetros de cálculo segundo o Guide to Safety at Sports Grounds (Green Guide):

O tempo de saída

É o tempo total necessário para que todos os espectadores, em condições normais, deixem a área dos assentos (bancadas) e entrem num sistema de saída de fluxo livre. (movimento de pessoas sem qualquer tipo de condicionamento ao livre deslocamento).

O tempo de saída de emergência é um cálculo que, juntamente com a taxa de passagem, é usado para determinar a capacidade de um sistema de saída de emergência desde a área dos assentos até um local seguro ou razoavelmente seguro em caso de uma emergência.

O tempo máximo de saída de emergência para estádios de eventos desportivos varia entre dois minutos e meio e oito minutos, como já mostrado anteriormente.

Taxas de Passagem

A taxa de passagem apresentada em todas os caminhos dentro das áreas de assentos (incluindo corredores, áreas de circulação e rampas) e em todas as escadas dentro do estádio é de 73 espectadores por metro linear por minuto e, em qualquer outro caminho deve-se adotar 109 espectadores por metro por minuto.

Local seguro e local razoavelmente seguro

Local seguro deve estar fora do edifício e as pessoas não estão sob os efeitos imediatos do fogo.

Local razoavelmente seguro é dentro do edifício, onde, por um período limitado de tempo, as pessoas terão proteção dos efeitos do fogo e do fumo. A localização dos locais razoavelmente seguros deve ser discutida com as autoridades responsáveis para aprovação do projeto de segurança do estádio e segundo a legislação vigente, sendo que estes devem possuir uma resistência ao fogo e elementos construtivos, de acabamento e de revestimentos incombustíveis, proporcionando às pessoas continuarem sua saída para um local de segurança. Exemplos: escadas de segurança, escadas abertas externas, corredores de circulação com ventilação natural com uma dimensão mínima de um terço do perímetro lateral.

Foi considerado as áreas de circulação do estádio como locais razoavelmente seguros. É importante ressaltar que para isso essas áreas devem receber um tratamento especial contra incêndio ou ventilação suficiente.

Áreas de acumulação

Zonas com permanência de pessoas em pé, que por razões de segurança, não podem possuir uma densidade de 40 pessoas por 10 metros quadrados.

5.4.2.3 Tempo de evacuação das áreas de assentos

Nível 5 – Bancada Superior

Neste estudo foi considerado que a área de circulação tanto do Nível 3 como Nível 2 são locais ‘relativamente seguros’. Neste nível foram propostos 30 vomitórios dos quais cinco, localizados no setor oeste, sendo destinados exclusivamente aos profissionais de média de imprensa desportiva.

Os tempos de evacuação das áreas de assentos deste nível não apresentaram problemas, quer nas destinadas ao público geral, quer nas destinadas aos profissionais da imprensa desportiva (média). É importante destacar que para a evacuação de assentos destinadas aos média, o tempo de evacuação máximo considerado foi de 6 minutos, considerando que pelo facto deste espaço possuir mobiliário temporário, fios, equipamentos elétricos e outros tipos de equipamentos, esta área tem uma probabilidade de desenvolver-se um cenário de incêndio quando comparado com abancada do público geral.

Na área destinada ao público geral a última fila de cadeiras, (a que se situa mais longe do campo), é contínua desde o início do setor norte até ao final do setor sul. Desta maneira a quantidade máxima de cadeiras recomendada é ultrapassada (28 de acordo com o Green Guide e 40 de acordo com a Nota Técnica). Além desta situação, existem outras situações em que não cumprem este requisito, no entanto verificou-se que todas estas baias podem ser evacuadas dentro dos oito minutos recomendados.

A figura 49 mostra que todas as áreas de assentos neste nível podem ser evacuadas dentro do tempo máximo estipulado. Nota-se que as áreas de assentos dos média têm tempos de evacuação inferiores a seis minutos, respeitando as recomendações dos documentos de referência.

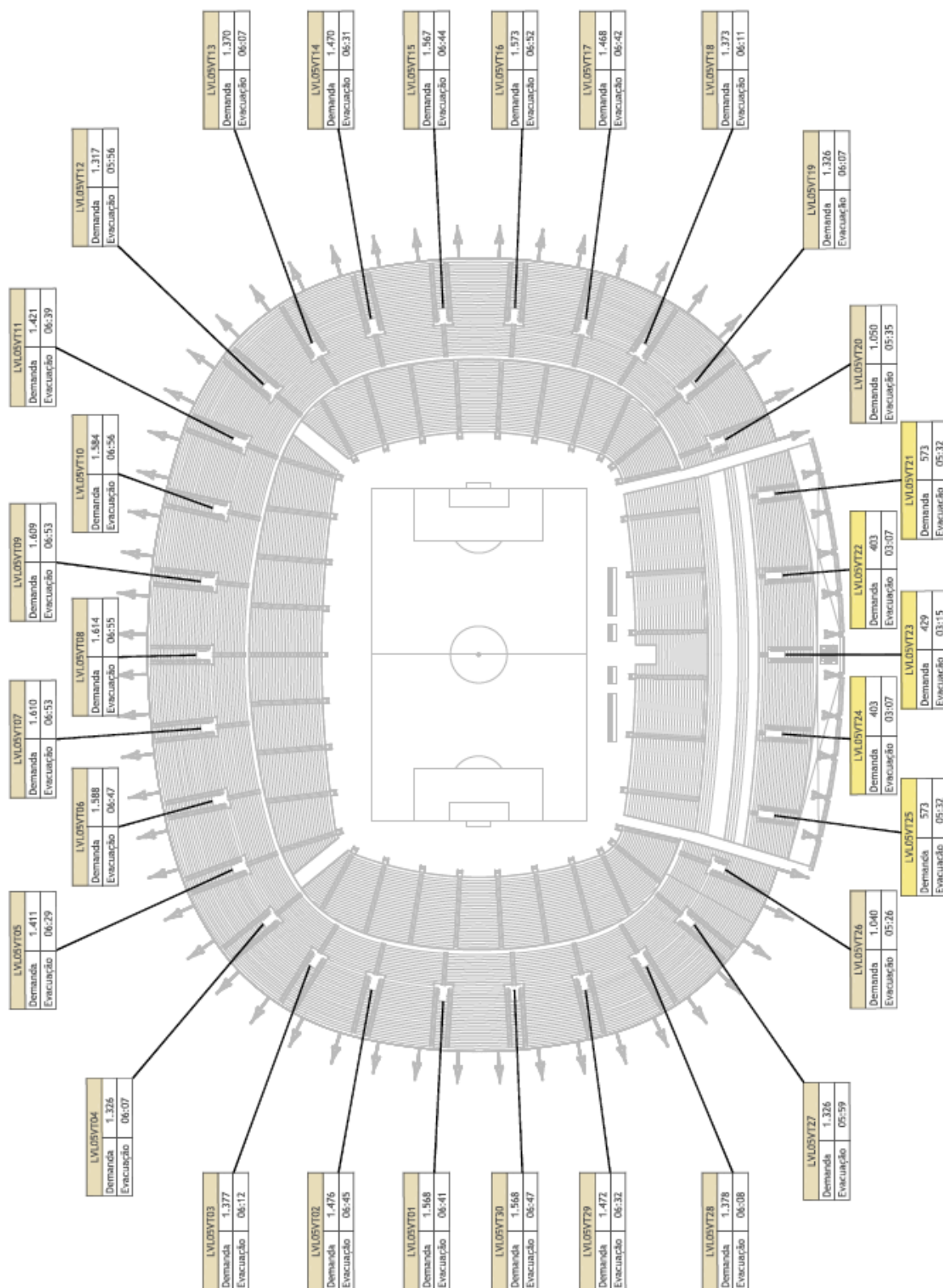


Figura 49 – Tempos de saída e demanda de cada vomitório (Bancada superior).

Nível 4 – Camarotes

Neste nível são previstos 26 camarotes, dois dos quais são destinados ao público VVIP e 24 para os espectadores de hospitalidade. Este nível só existe no setor oeste e tem uma capacidade para 96 VVIP's e 512 espectadores de hospitalidade, totalizando 608 espectadores.

De realçar que a partir dos dados obtidos, todas as áreas com assentos deste nível podem ser evacuadas em menos de 1 minuto.

Nível 3 – Camarotes

Neste nível existem 28 camarotes. Tal como sucede no Nível 2, neste nível só terá assentos no setor oeste. Os outros setores deste nível serão destinados à circulação do público geral da bancada superior, totalizando 720 espectadores.

A partir dos obtidos todas as áreas com assentos deste nível podem ser evacuadas em menos de 1 minuto.

Nível 2 – Bancada inferior

A partir deste nível, ter-se-á acesso à bancada inferior, que terá capacidade para 23.441 espectadores.

Como se pode observar na Figura 50 o tempo de saída dos espectadores desta área ficaram todos abaixo de 8 minutos.

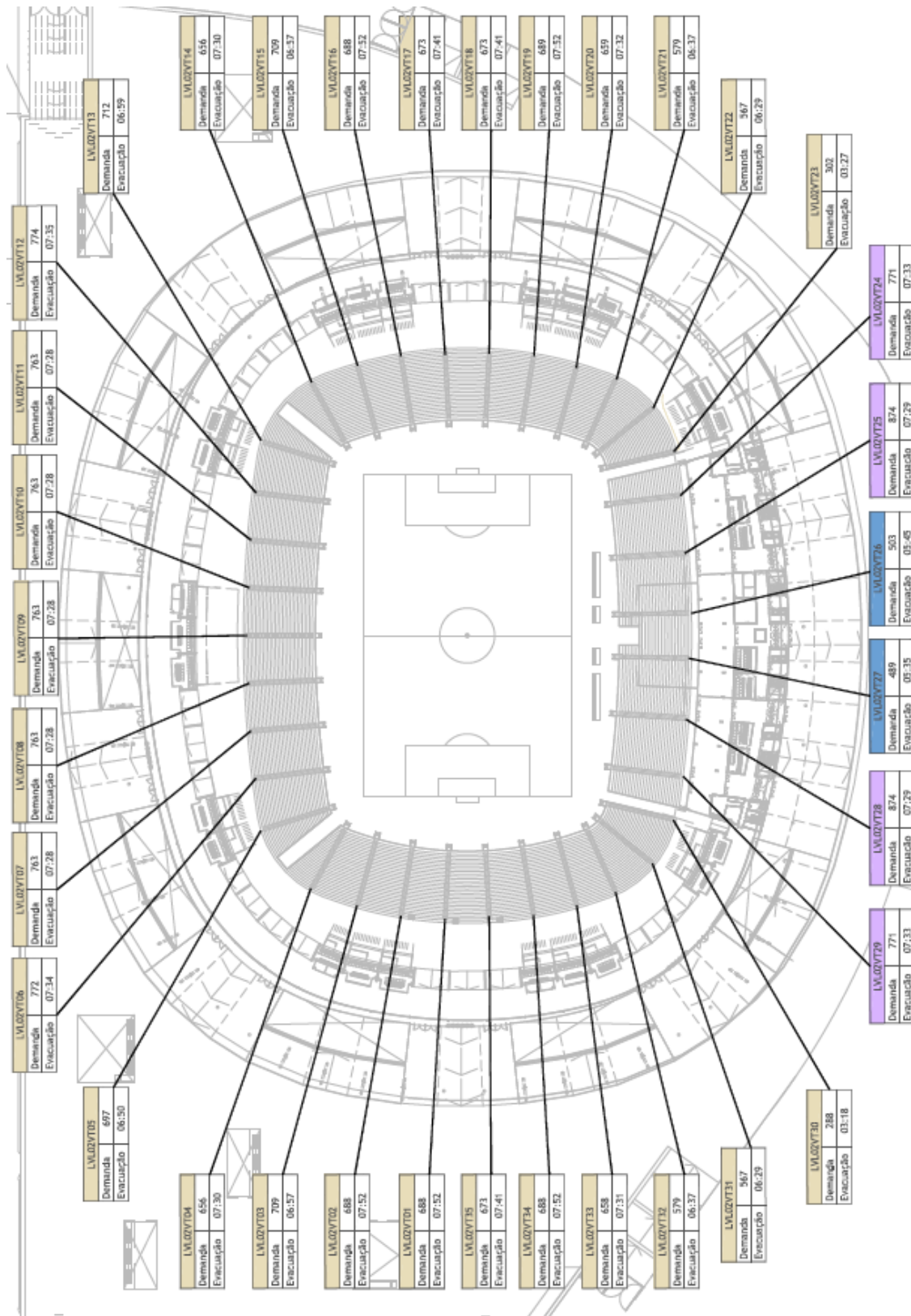


Figura 50 – Tempos de saída e demanda de cada vomitório (Bancada inferior)

5.4.2.4 Tempo de evacuação das áreas de circulação

Nível 5 – Acesso (circulação dos média ou profissionais da imprensa)

Numa situação de emergência, não é possível que todos os profissionais de imprensa previstos no projeto possam evacuar a área de circulação em menos de oito minutos utilizando apenas a escada exclusiva, que tem 2,15 metros de largura. Desta maneira, para a saída dos espetadores dos média numa situação de emergência foi considerado que este efetivo poderia utilizar, além das escadas que lhes são exclusivas, as escadas destinadas aos VIP's, facto que realmente ocorre em situação de emergência. A figura a seguir apresenta os caminhos de evacuação deste nível.

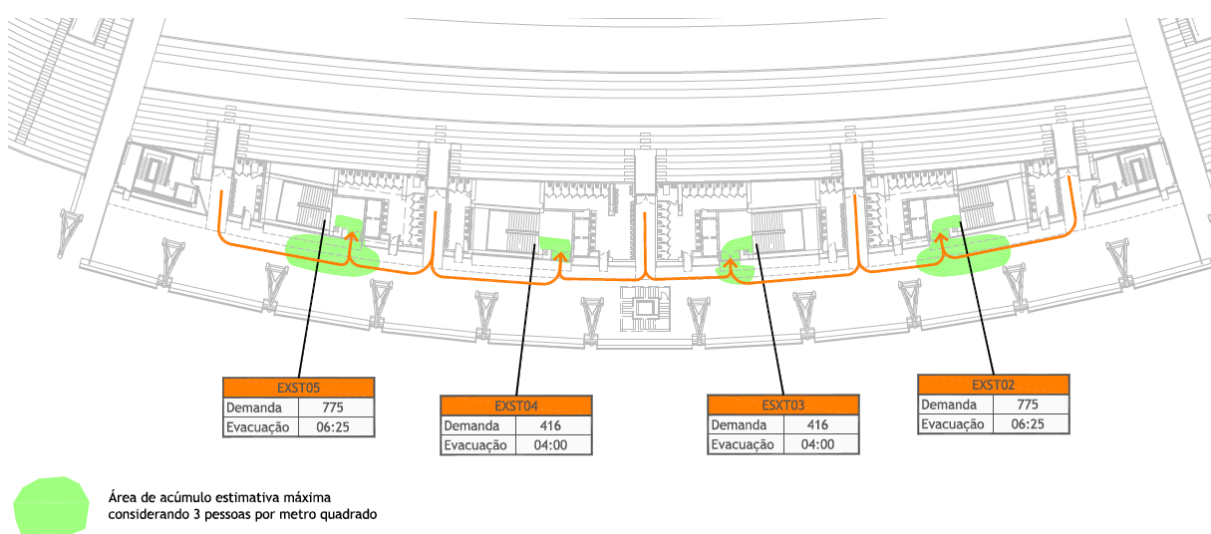


Figura 51 – Tempo de evacuação (Nível 5 – circulação dos média).

A área de circulação deste nível tem uma área de aproximadamente 900 m², que é suficiente para acomodar mais de 75% da população total prevista para esta área, considerando uma densidade de duas pessoas por metro quadrado, o que atende as recomendações do Green Guide de que a área de circulação deve ter espaço para acomodar pelo menos 30% da população total prevista.

Nível 4 – Circulação de camarotes

Neste nível, há áreas de circulação exclusivas para o público de hospitalidade e para o público VVIP, contudo a escada que dá acesso do nível de entrada a área de lounge de VIP's do Nível 04 tem uma abertura também para a área de circulação dos espetadores de hospitalidade.

Em caso de emergência, foi considerado que todos os espectadores poderão utilizaras seis escadas disponíveis neste nível, de acordo com a que for mais próxima e conveniente para cada espectador. Na figura 52, é possível observar os caminhos de evacuação concebidas para este nível.

Da análise de evacuação do efetivo, constatou-se que haverá uma acumulação do efetivo no acesso a algumas saídas, no entanto na área de circulação, existe espaço suficiente para acomodar todas estas pessoas desta zona em estudo sem que haja obstrução de nenhuma saída dos vários camarotes.

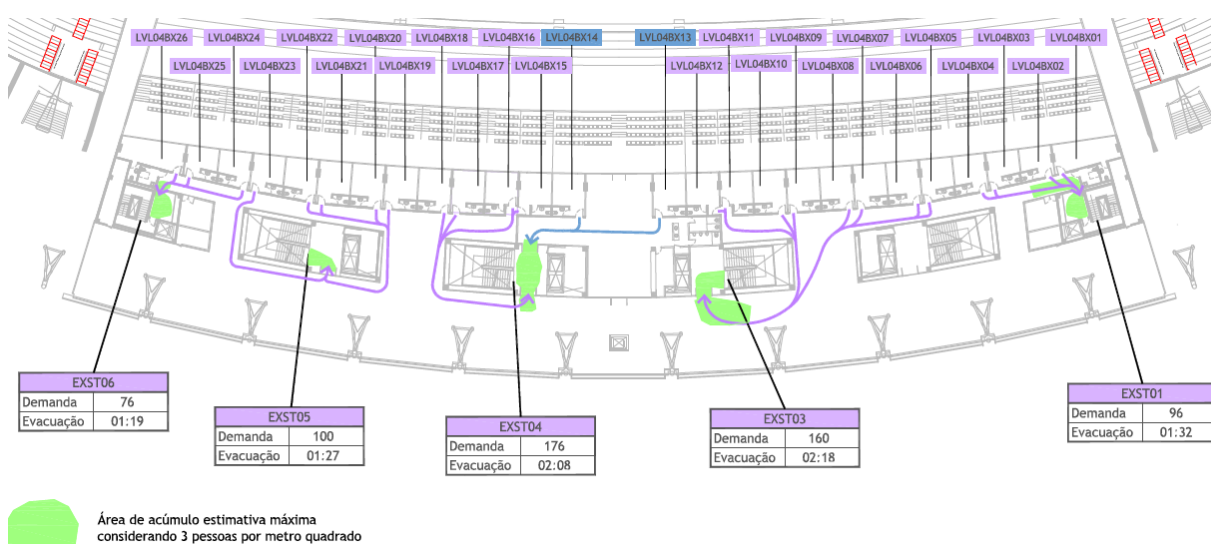


Figura 52 – Tempo de evacuação (Nível 4 – circulação junto a zona dos camarotes).

É importante lembrar, que todas as áreas de circulação do projeto foram consideradas como sendo áreas relativamente seguras.

As áreas de circulação deste nível, tanto para os espectadores de hospitalidade (aproximadamente 1.060 m²) como para os VIP's (aproximadamente 140 m²), têm capacidade para acomodar mais de 100% dos espectadores previstos para estas áreas considerando a densidade de duas pessoas por metro quadrado, como recomenda o Green Guide

Nível 3 – Circulação nos camarotes e na bancada superior

No setor oeste deste nível há uma área de circulação para espectadores de hospitalidade. Nos setores norte, leste e sul, haverá caminhos de circulação para os espectadores do público geral da bancada superior. Neste estudo foi considerado que entre o setor oeste e os demais setores, não haverá possibilidade de haver interligação entre estes efetivos, sendo esta a justificação

para o facto das modelações de evacuação das pessoas serem realizadas de forma independente. A Figura 53 ilustra os caminhos de evacuação considerados para a evacuação do Nível 3.

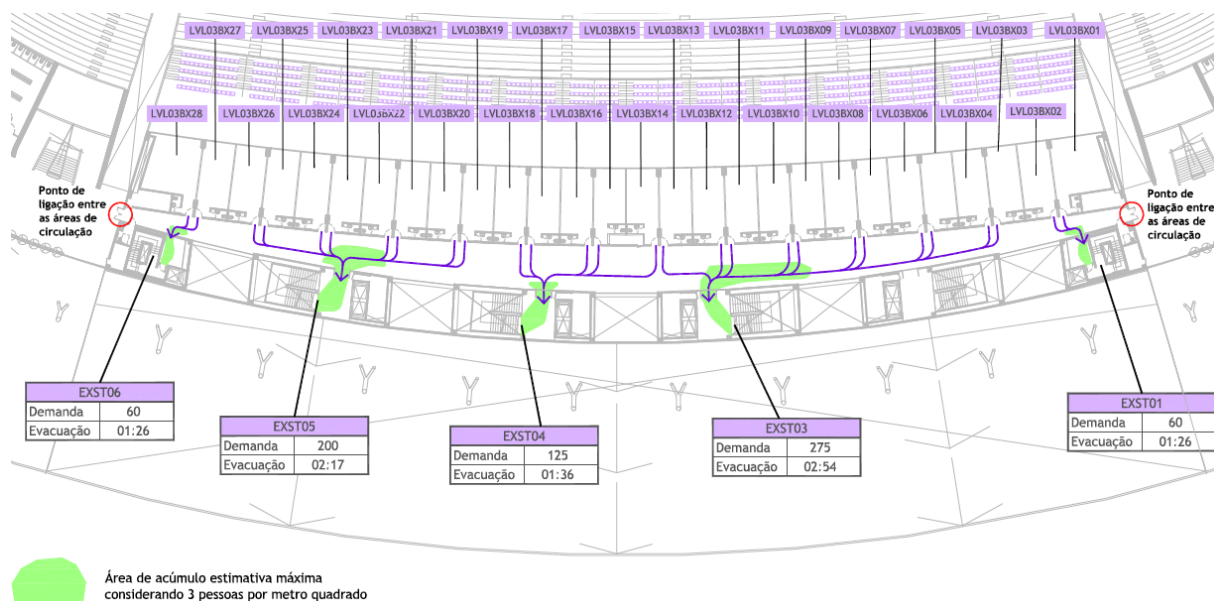


Figura 53 – Tempo de evacuação (Nível 3 – circulação dos camarotes e bancadas superior).

A modelação da evacuação das pessoas no setor oeste foi feita seguindo as mesmas premissas adotadas para a modelação do Nível 4.

Da análise de evacuação do efetivo, constatou-se que haverá uma acumulação de público no acesso a algumas saídas, no entanto na área de circulação, existe espaço suficiente para acomodar todas estas pessoas nesta zona em estudo sem que haja obstrução de nenhuma saída dos vários camarotes.

A área de circulação do setor oeste deste nível, tem uma área aproximadamente de 520 m², o que se traduz numa densidade de duas pessoas por metro quadrado, o que é suficiente para acomodar mais de 100% do total de público previsto para esta área.

Os espetadores do público geral da bancada superior sairão do estádio pelos setores: norte, leste e sul, deste nível. A área de circulação destes setores do Nível 03 dará acesso as várias rampas, que conduzirão o público diretamente ao podium. Com esta configuração arquitetónica, o público de cada vomitório da bancada superior é sempre direcionado para o ponto de saída mais próximo. Assim, consegue-se que o público que se encontra esta área de circulação poderá ser evacuado dentro dos limites máximos apresentados nos documentos de referência, que são oito minutos.

Neste nível, a área de circulação destinada ao público geral tem aproximadamente 3.315 m² e é suficiente para acomodar aproximadamente 29% da população total prevista. Um pouco abaixo do mínimo recomendado pelo Green Guide, contudo por estar muito próximo dos 30% que é o valor recomendado e por se tratar de um estádio existente, considerou-se um cenário aceitável.

Nível 2 – Bancada inferior

De forma análoga ao que acontece no Nível 3, o setor oeste do nível dois é destinado a espectadores de hospitalidade e VIP's, enquanto que os outros setores são destinados à circulação do público geral da bancada inferior.

Assim, a modelação da evacuação de pessoas deste nível também foi feita em duas etapas distintas: uma para setor oeste e outra para os outros setores.

No setor oeste, há quatro saídas para os espectadores de hospitalidade e uma para VIP's. Estas saídas são utilizadas também pelo público dos Níveis 5, 4 e 3, que descerão pelas escadas para sair do estádio, pelo que numa situação de emergência haverá diferentes grupos de pessoas a utilizar a área de circulação do setor oeste do Nível 2. A figura 54 ilustra os pontos de saída do setor oeste do estádio.

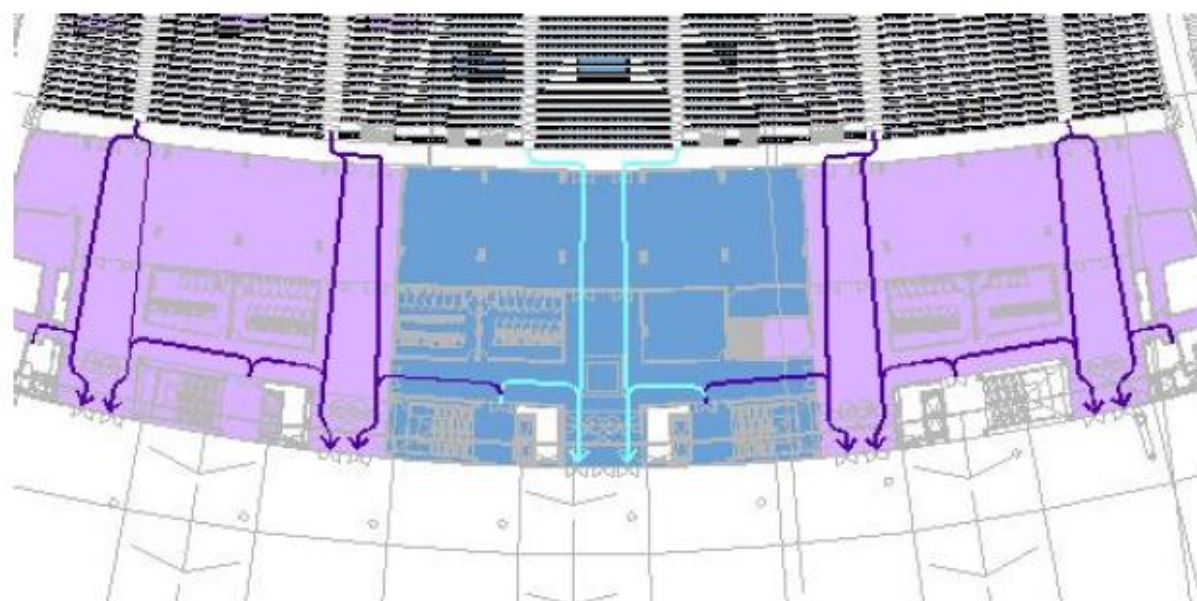


Figura 54 – Pontos de saída (Nível 2 – setor oeste).

A área de circulação deste setor é dividida entre espectadores VIP's e de hospitalidade, sendo que ambas têm capacidade para acomodar mais de 30% dos espectadores previstos. Considerando a densidade de duas pessoas por metro quadrado, a área de circulação de VIP's tem capacidade para aproximadamente 78% da população total e a área de hospitalidade tem capacidade para acomodar cerca de 45%.

Os espectadores do público geral da bancada inferior nos setores norte, leste e sul sairão do estádio por este nível. A área de circulação destes setores no Nível 2 terão acesso a rampas que farão a ligação direta para o podium. Além disso, o público de cada corredor da bancada inferior é conduzido para o ponto de saída mais próximo.

Neste nível a área de circulação destinada ao público geral tem aproximadamente 9.975 m², sendo suficiente para acomodar mais de 100% da população total prevista.

Neste caso concreto, verificou-se que 13 das 16 saídas do sector apresenta tempo de evacuação superior a 8 minutos e para o caso mais desfavorável, ocorre 51 segundos após o previsto no regulamento.

5.4.2.5 Tempo de evacuação até um local seguro

Saída do estádio

Os resultados apresentados anteriormente, ou seja, os tempos de evacuação do efetivo para os diferentes cenários estudados, refletem os tempos máximos para que os espectadores possam sair das áreas de circulação de estádio, o que neste estudo de caso, equivale ao tempo que é necessário para sair do estádio.

Nas figuras 55 e 56 é possível observar os tempos de saída do estádio.

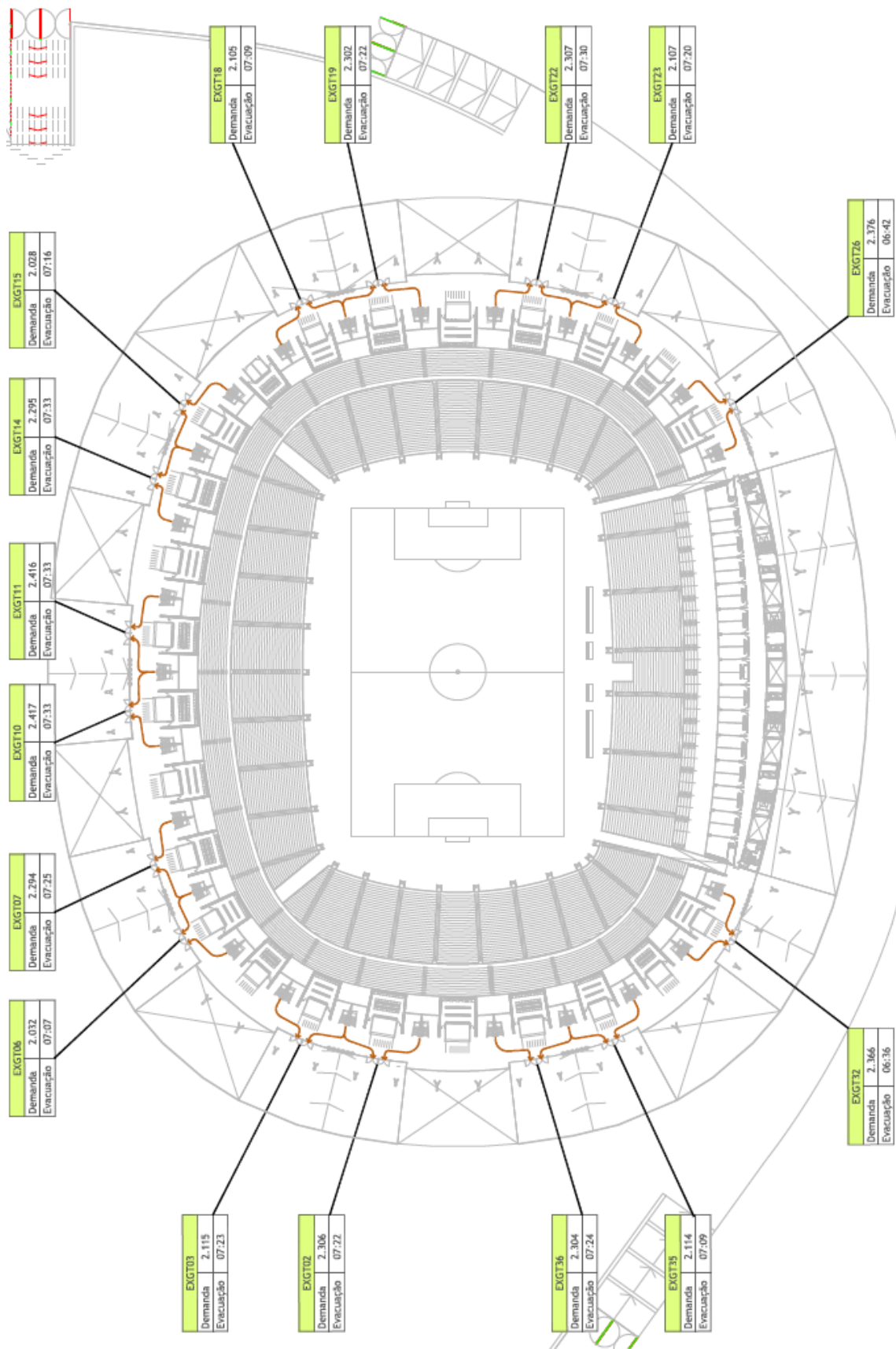


Figura 55 – Tempos de saída (portões da bancada superior).

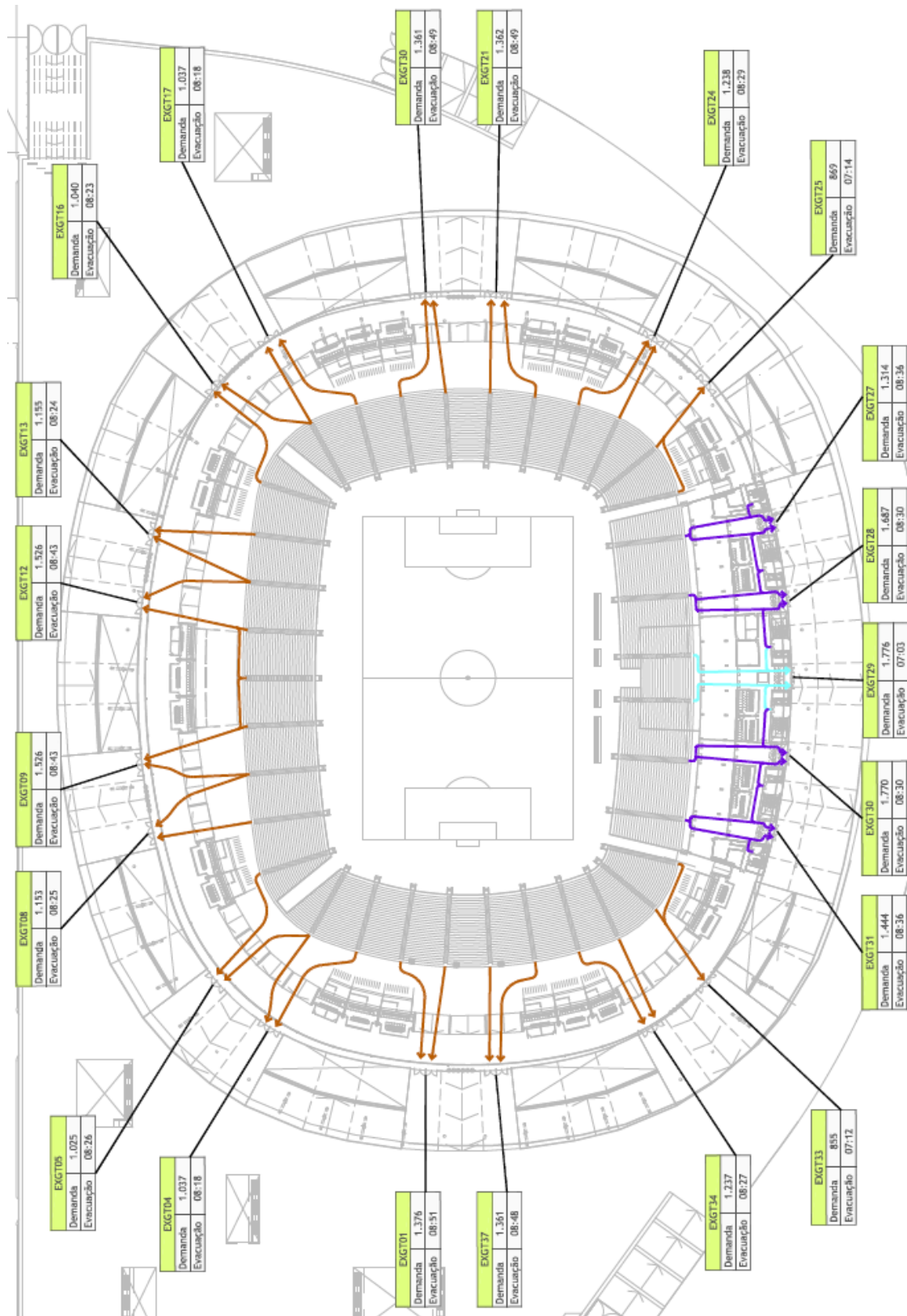


Figura 56 – Tempos de saída (portões do Nível 2).

Saída do *podium*

Assim que o público abandonar a área interna do estádio, os espectadores encontrar-se-ão no *podium* do estádio, e partir dele, terão cinco saídas principais que os conduzirão exterior do complexo desportivo. No entanto, antes do público ter acesso ao exterior do complexo desportivo, terão que passar pelo perímetro externo de forma a terem acesso a um local seguro. O trajeto referido anteriormente, pode ser visualizado na figura 57.

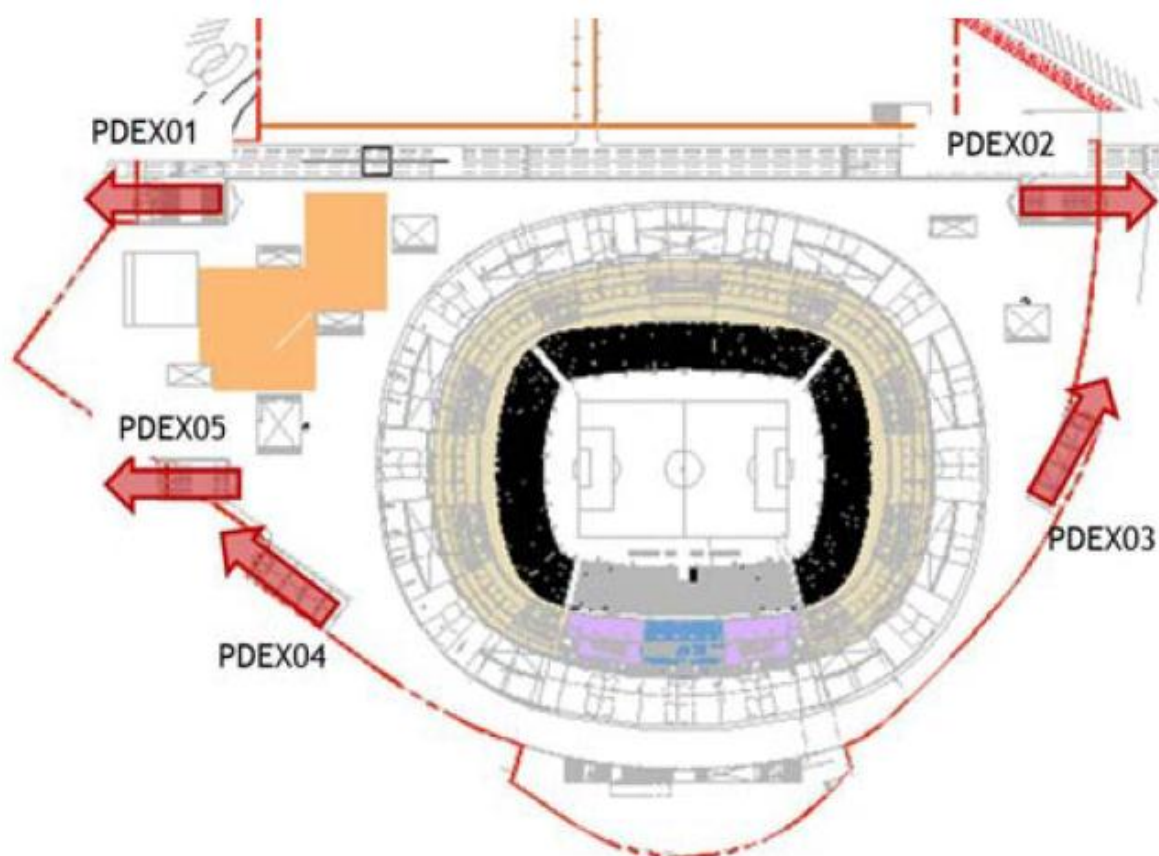


Figura 57 – Pontos de saída do *podium*.

Tendo em conta a disposição em planta das saídas do *podium*, numa situação de emergência, os espectadores tenderão a ser conduzidos para o ponto de saída mais próximo. Além disso, prevê-se que numa situação de emergência toda a população do estádio possa sair da área do *podium* no máximo em 14 minutos e 40 segundos.

No entanto, de acordo com a configuração proposta para as portas de saída e com a capacidade de passagem de pessoas nas mesmas, haverá uma acumulação de pessoas numa situação de emergência. Por exemplo que na porta de saída PDEX02 haverá um grande acumulação de pessoas, porém observa-se também, que no projeto apresentado, há espaço

para acomodar todas estas pessoas. É importante destacar que no desenho apresentado não se apresenta nenhum layout temporário para quiosques de venda de produtos ou marketing. Desta forma, caso surja a necessidade de se fixarem estruturas temporárias, estas terão que ser objeto de análise para garantir que os espetadores não terão problemas de evacuação para abandonar a área do podium.

5.4.2.6 Saída normal (sem emergência)

Num cenário normal de saída dos espetadores é sempre influenciado pelas escolhas que cada espetador possa fazer após conclusão de um jogo de futebol ou outro evento que ocorra no interior do estádio, acabando por dificultar a determinação exata do tempo que o público demora a abandonar o recinto desportivo. Até porque há uma série de fatores que fazem com que o cálculo deste cenário de saída normalizada seja impreciso, nomeadamente:

- Atividades oferecidas a cada grupo de espetadores depois do jogo;
- Decisão de parar, ou não, em pontos de vendas e o tempo gasto nessas atividades;
- Utilização de, ou não, de WC's outras áreas de serviços;
- Curiosidade em conhecer o estádio;
- Decisão de sair antes do término de partida/evento;
- Decisão de esperar até ocorrer o pico de saída do interior do estádio para depois saírem mais tranquilamente.

5.4.2.7 Conclusão da modelação

As bancadas inferiores do setor oeste, apresentam tempo de evacuação superior a 8 minutos em 13 das suas 16 saídas, mesmo tendo sido respeitadas todas as exigências prescritivas. Nos outros setores, o tempo máximo de saída estabelecido pela norma foram respeitados.

Caso se proceda à instalação de estruturas provisórias nas áreas internas do estádio, haverá sempre necessidade de se proceder, novamente ao cálculo dos tempos máximos de evacuação do efetivo no estádio, uma vez que, muito provavelmente, estas irão influenciar a evacuação do mesmo. A modelação deste novo cenário de evacuação deverá garantir que nenhuma área crítica de circulação e evacuação seja afetada pela presença destas novas estruturas e, caso se verifique a interferência destas na evacuação das pessoas, a distribuição destas deve ser feita de forma a minimizar o seu efeito.

Estratégias de sinalização e comunicação visual são essenciais para informar os espectadores como movimentar-se dentro do estádio. Uma sinalização clara e de fácil compreensão e plantas com caminhos de circulação são essenciais para que os espectadores possam movimentar-se no estádio de forma segura.

5.4.3 Evacuação no estádio sem emergência



Figura 58 – Fotografia da bancada durante o jogo Nigéria e Espanha.

Num artigo publicado pela revista NATURA, Helbing et al. (2000) apresentaram um modelo para traduzir o comportamento de pessoas, quais mecanismos e condicionantes que podem estar na origem do pânico e o feito deste na origem de engarrafamentos devido ao movimento desordenado de multidões. Este autor afirma que existem diferentes níveis de pânico, e que a capacidade de evacuação está depende do nível de pânico a que se encontra uma multidão de pessoas. Na figura 59 é possível observar um gráfico que traduz isso mesmo.

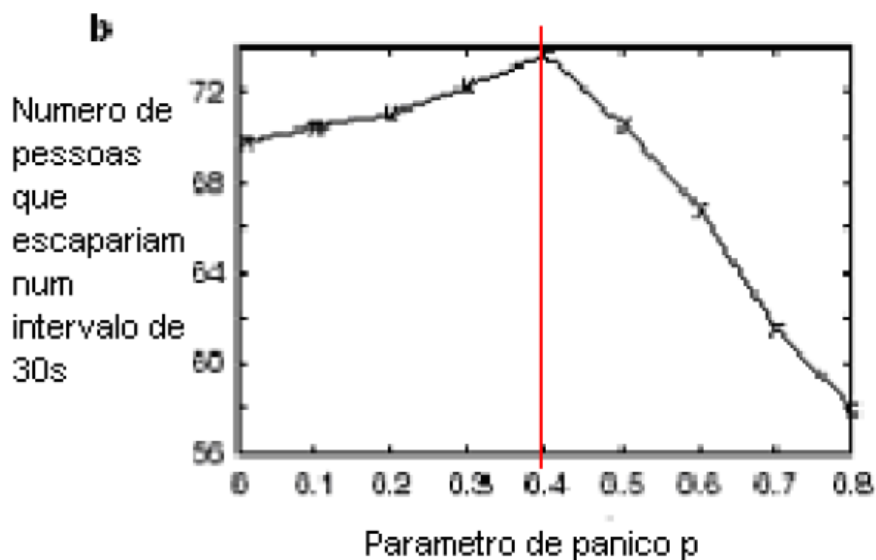


Figura 59 – Número de pessoas que escapariam em função do nível de pânico da multidão (Helbing et al., 2000).

Este gráfico parece indicar, mesmo indo contra o senso comum, que é necessário haver um certo nível de pânico (desde que seja demasiadamente excessivo) para que a multidão em evacuação entre num estado de alerta e que, inconscientemente, acabe por aumentar a velocidade de andamento, aumentando assim, o número de pessoas que conseguem evacuar numa situação de emergência.

A influência do nível de pânico, parece ser observável em dois casos reais: no jogo de Espanha contra Nigéria em 2013 no campeonato das confederações e no jogo do Brasil contra o México em 2014, no mundial de futebol no Brasil. Em ambos os jogos, o tempo teórico para a evacuação de público previsto para um cenário normal de evacuação em emergência seria entre 8 a 10 minutos. No entanto, o que se verificou foi que a evacuação total do publicou só verificou ao fim de 20 minutos, ou seja, como no final do jogo não se identificou um fator que provoca-se qualquer estado de ansiedade no público, este acabou por sair de uma forma tranquila e em passo lento, registando-se, assim, um tempo de evacuação em cerca do dobro do tempo estimado em relação ao tempo registado no pior cenário obtido por modelação numérica.

Desta feita, o nível de pânico em que se encontra uma multidão em evacuação, parece ter influência na forma como uma multidão se desloca.

5.4.4 Eventos atípicos no campo

Além do futebol e outras modalidades desportivas (voleibol e atletismo), o estádio também recebeu outro tipo de eventos como por exemplo, espetáculos musicais e religiosos. Segundo Grigorovski (2007), já se realizaram os seguintes eventos:

- Missa campal do Papa João Paulo II em 1980;
- Espetáculo musical do cantor norte-americano Frank Sinatra em 1980;
- Espetáculo musical do grupo de rock'n roll Kiss, em 1983;
- Jogo amigável e comemorativo, de voleibol, entre as seleções do Brasil e da ex-URSS em 1983;
- Espetáculo musical da cantora norte-americana Tina Turner, em 1988, com uma afluência de público de 188 mil espectadores.
- Espetáculo musical do cantor inglês e ex-beatle Paul McCartney, em 1991;
- Festival musical internacional Rock In Rio II, em 1991;
- Espetáculo dos norte-americanos Guns N' Roses e Madonna, em 1992 e 1993, respetivamente;
- Festival musical internacional Hollywood Rock, com apresentação do grupo inglês Rolling Stones, em 1995;
- Espetáculo musical do grupo Backstreet Boys, em 2001.

O Congresso Eucarístico Nacional realizou-se em Fortaleza, a 9 de julho de 1980, com a participação do Papa João Paulo II nas celebrações do Congresso e o estádio Castelão recebeu 120 mil pessoas.

Outra celebração religiosa aconteceu em 13 de agosto de 1995, reunindo 50 mil pessoas no estádio, devido à despedida do então arcebispo de Fortaleza, Dom Aloísio Lorscheider.

A diversidade de eventos a que este estádio está sujeito e o estado emocional que estes provocam nas pessoas, faz com que o desenvolvimento da evacuação nestes casos seja diferente do tradicional cenário de um jogo de futebol. Como tal, isto implica que para cada tipo de evento, a forma como se desenvolve a evacuação do efetivo seja diferente devido às particularidades de cada um. Por exemplo, nos espetáculos musicais e nos eventos religiosos o efetivo poderá encontrar-se de forma muito concentrada no relvado (elevada densidade), sendo este cenário muito diferente daquele para que foi concebida a estrutura na sua fase de projeto.

Para eventos musicais, religiosos, ou outros similares, a Nota Técnica de Referência em Prevenção Contra Incêndio e Pânico em Estádios e Áreas afins (2010), estabelece critérios de evacuação mais exigentes do que para jogos de futebol, pois a concentração de pessoas no campo é muito alta e esta situação necessita de maior atenção na concepção dos projetos.

De uma maneira geral, será apresentado as características de projeto, a quantidade de público presente no estádio e as alterações de projeto feitas em dois eventos realizados com autorização das autoridades locais no estádio Castelão, sendo que a legislação local é prescritiva e basta verificar tais parâmetros para obter a aprovação de projetos. O projeto apresentado foi cedido pela empresa W-Link Engenharia LTDA.

5.4.4.1 Espetáculo de Paul McCartney

O evento (ver figura 60) ocorreu no dia 10 de Maio de 2013 e havia um total de 13.000 pessoas dentro do campo, sendo divididos em 2 áreas, a pista “premium” com 5.600 pessoas e a pista “geral” com 7.400 pessoas.



Figura 60 – Concentração de público no campo do estádio no espetáculo do cantor Paul McCartney na Arena Castelão em 2013.

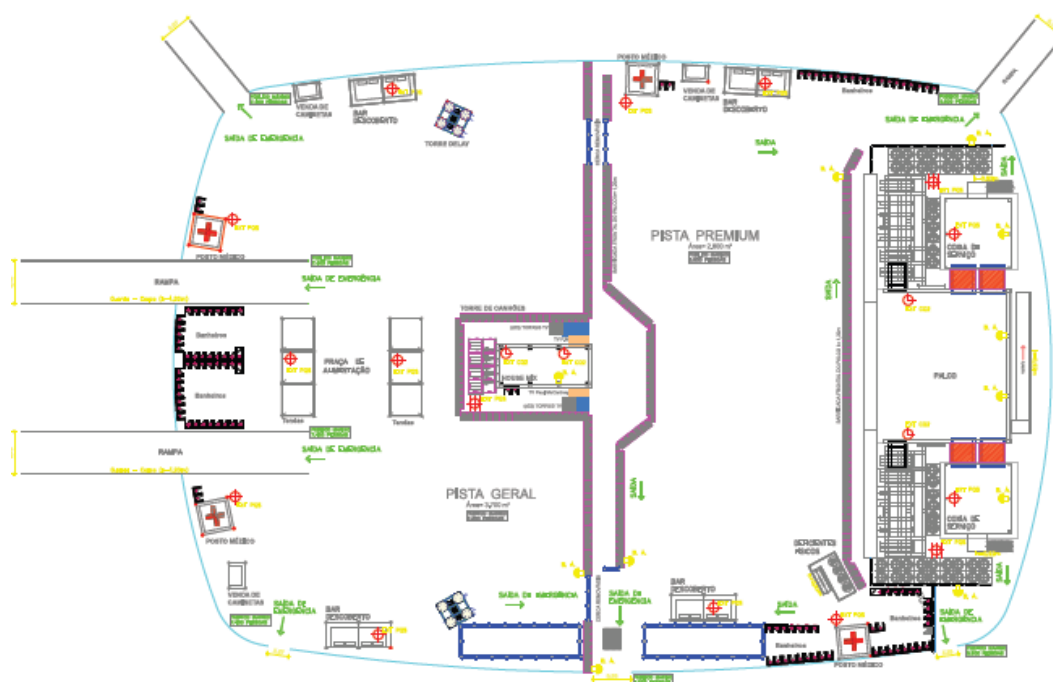


Figura 61 – Planta com as modificações do estádio para receber espetáculo do cantor Paul McCartney na Arena Castelão em 2013.

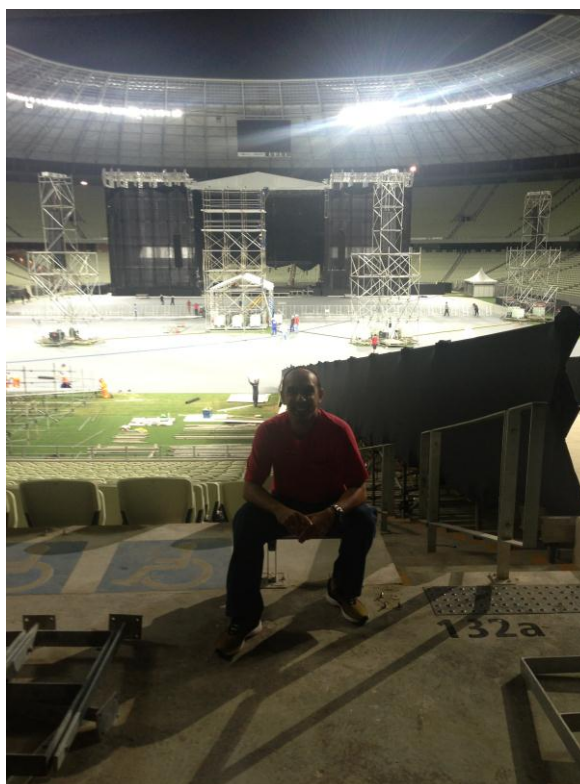


Figura 62 – Fotografia com as modificações do estádio para a realização do espetáculo do cantor Paul McCartney na Arena Castelão em 2013.

5.4.4.2 Espetáculo da Beyoncé



Figura 63 – Concentração de público no campo do estádio no espetáculo da cantora Beyoncé na Arena Castelão em 2013.

O evento ocorreu no dia 08 de Setembro de 2013 e havia um total de 11.200 pessoas dentro do campo, sendo divididos em 2 áreas distintas, a pista “premium” com 5.200 pessoas e a pista “geral” com 6.000 pessoas.

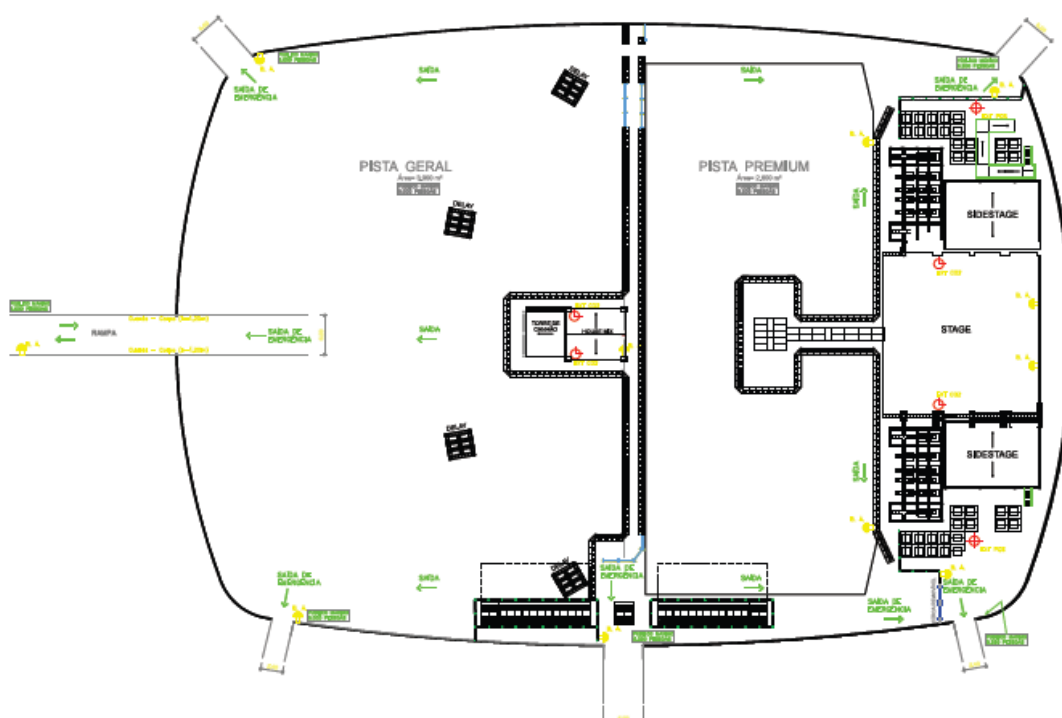


Figura 64 – Planta com as modificações do estádio para receber o espetáculo da cantora Beyoncé na Arena Castelão em 2013.



Figura 65 – Fotografia com as modificações do estádio para a realização do espetáculo da cantora Beyoncé na Arena Castelão em 2013.

5.4.5 Simulação computacional de evacuação com FDS+EVAC

Os modelos computacionais de evacuação são ferramentas importantes para a avaliação do projetos de engenharia no que concerne à segurança e evacuação das pessoas, pois permite calcular o tempo de saída dos ocupantes de uma edificação. O tempo necessário para a evacuação deve ser menor do que o tempo disponível para abandonar o edifício. Para estimar o tempo de evacuação, o projetista possui uma quantidade enorme de possibilidades para o efeito, desde da aplicação de equações simples, até modelos computacionais que simulam o comportamento humano em caso de evacuação. (Braga, 2008)

Tendo em conta a natureza de eventos que se podem realizar na edificação em estudo, cálculo do tempo de evacuação terá que ser analisada e determinada para três seguintes situações:

- **Jogos de futebol ou eventos desportivos com as mesmas características** - Este tipo de cenário é aquele para qual a edificação foi construída e para qual está prevista toda sua concepção inicial de projeto. Neste cenário, as bancadas são as áreas com o maior número de pessoas e portanto, é onde se localiza o foco crítico da evacuação, Além disso, convém não esquecer que as bancadas são em betão armado e encontram-se ao ar livre, pelo que um cenário de incêndio tem pouca expressão.
- **Áreas internas da edificação (auditórios, museus, entre outras)** – Nestas áreas internas do estádio comportam as salas de imprensa, camarotes e toda a área administrativa do estádio. Neste caso, além de se considerar o deslocamento de

pessoas em fuga, há que ter em linha de conta a possibilidade de se desenvolver um incêndio.

- **Eventos musicais, religiosos, ou outros com as mesmas características** - Neste tipo de cenário o público encontra-se concentrado no interior do relvado em elevado número onde estava inicialmente previsto ser ocupado pelos jogadores das equipas de futebol, comissão técnica, arbitragem e outras poucas pessoas envolvidas na partida.

5.4.5.1 Cenário 1 (Bancada superior)

O primeiro caso de simulação, o software de utilizado foi o FDS+EVAC e para a simulação computacional foi adotada a simplificação feita por Carneiro (2012). Deste modo, simulou-se uma situação de emergência, em que todo o efetivo do setor foi dirigido para um único vomitório, considerando uma situação mais crítica que a convencional, uma vez que existe um vomitório disponível para cada setor (ver Figura 66).

- Total de espetadores: 1584 pessoas;
- Tempo de evacuação máximo estimado pela modelagem: 6 minutos e 56 segundos (ver vomitório LVL05VT10 na Figura 49);
- Tempo de simulação no FDS: 8 minutos

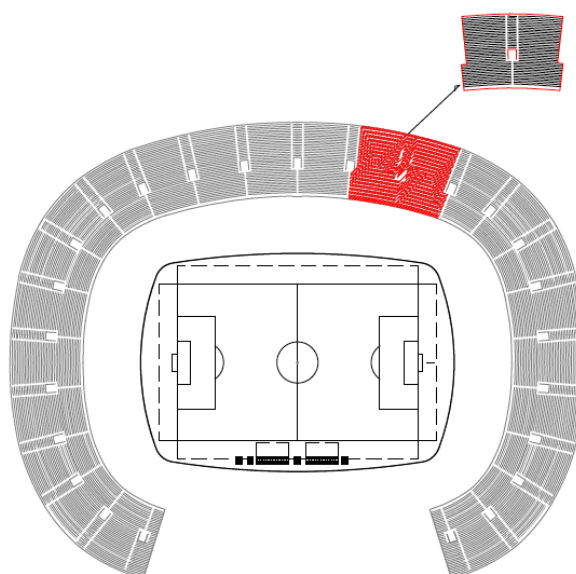


Figura 66 – Cenário de simulação 1.



Figura 67 – Modelo de simulação 1 no FDS.

©Smokeview 6.1.11 - Jul 16 2014

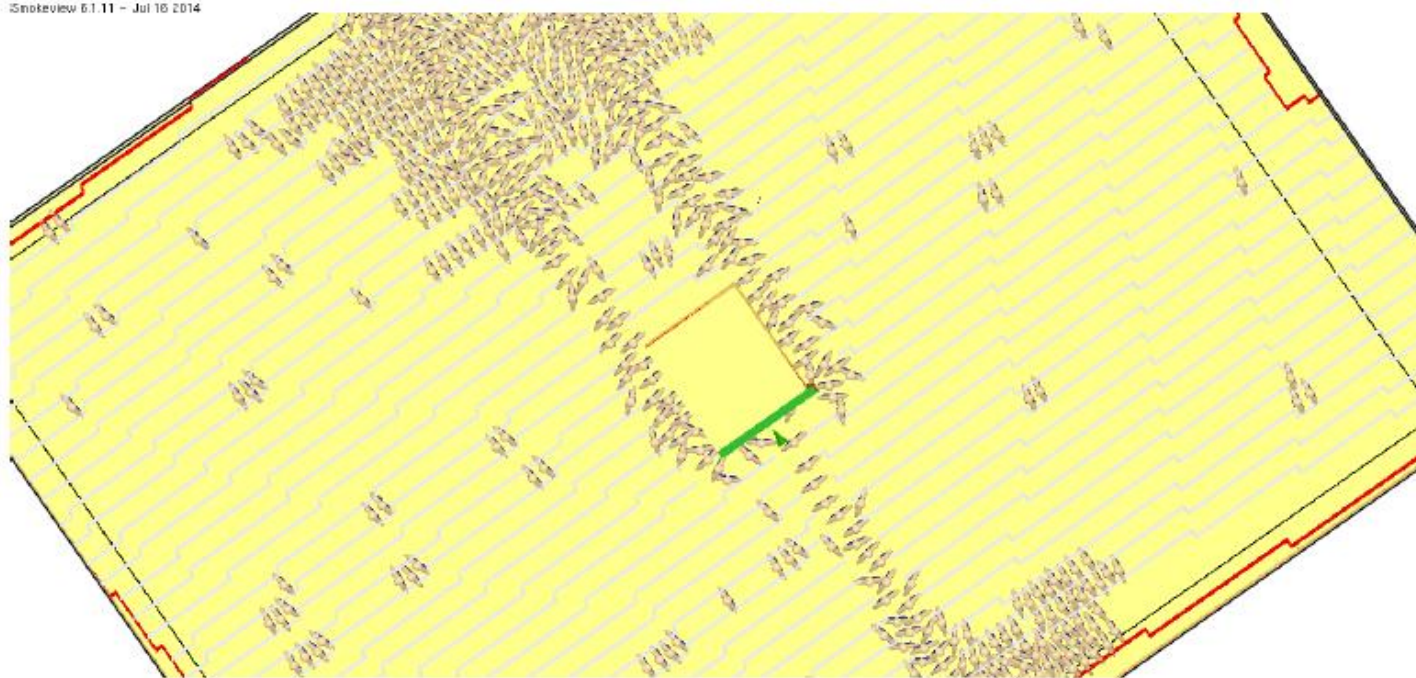


Figura 68 – Modelo de simulação 01 no FDS (ampliado).

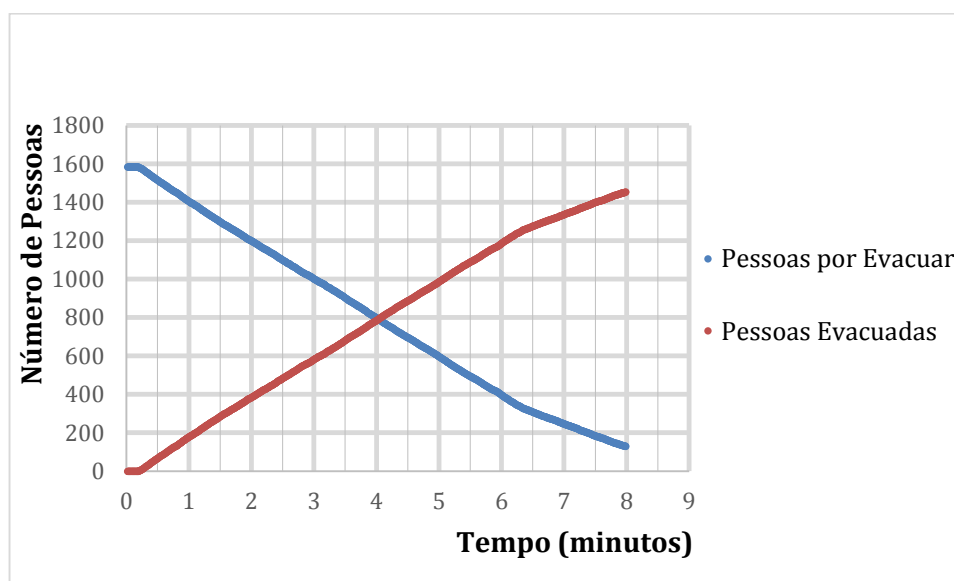


Figura 69 – Evacuação do efetivo nas bancadas superiores.

Como pode ser visto na Figura 69, após 8 minutos de simulação o efetivo não foi totalmente evacuado, porém notou-se que os 127 ocupantes que permaneceram no interior das bancadas estavam completamente livres para se movimentarem. Este facto, sugere que a bancada seria evacuada dentro dos 8 minutos previstos pela legislação.

5.4.5.2 Cenário 2 (Camarotes – Nível 3)

No caso desta simulação consideraram-se os camarotes do setor oeste (Nível 3) por se tratarem de locais internos e de um tipo de evacuação diferente daquela que ocorreu nas bancadas. Desta forma tentou-se simular a influência que um incêndio poderá ter quando estiver próximo das escadas e acabando por elimina-la do processo de simulação, sendo que a área modelada foi tratada isoladamente das áreas das bancadas do estádio (ver Figura 70).

- Total de espetadores: 720 pessoas;
- Tempo de evacuação máximo estimado pela modelagem: 2 minutos e 54 segundos (ver Figura 53);
- Tempo de simulação no FDS: 5 minutos (ver Figura 72).

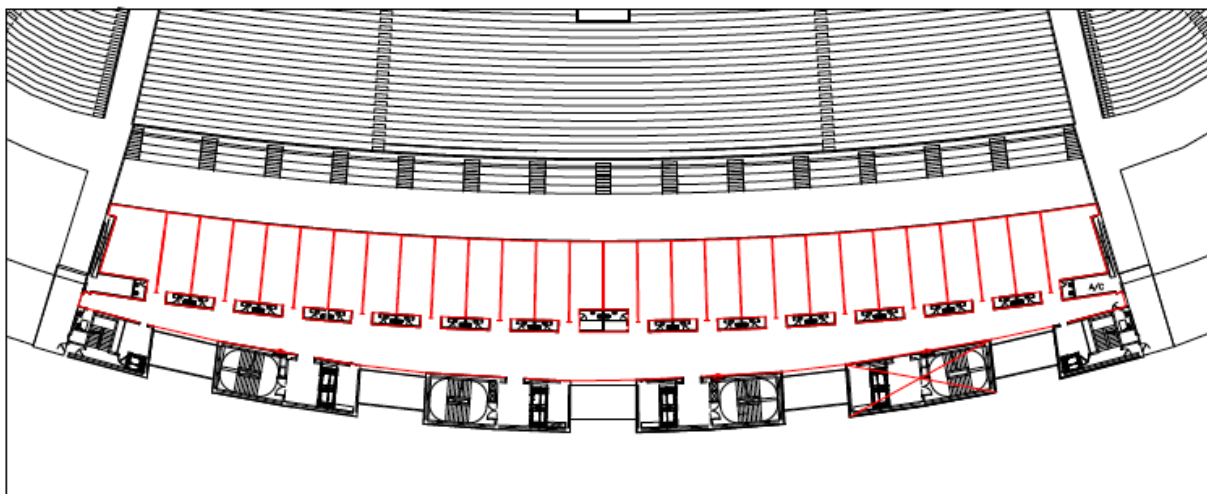


Figura 70 – Cenário de simulação 2.

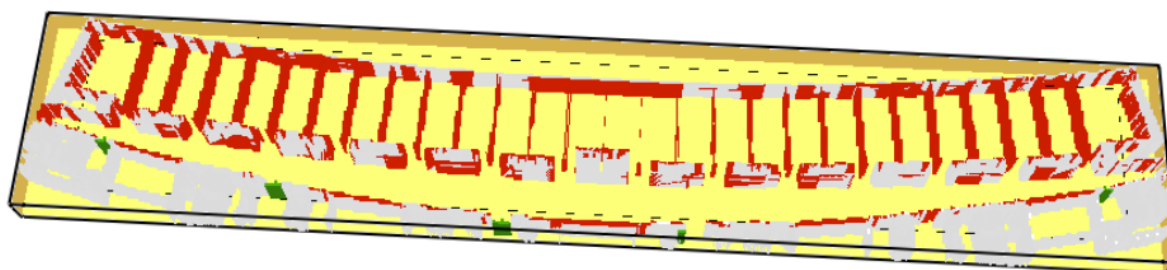


Figura 71 – Modelo de simulação 2 no FDS.

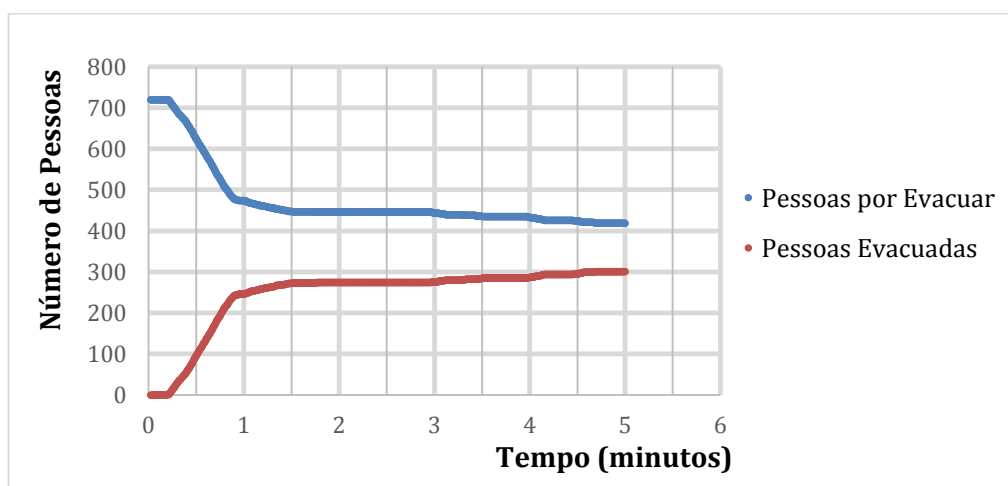


Figura 72 – Evacuação do efetivo nos camarotes – Nível 3.

A Figura 72 mostra que após os cinco minutos de simulação, 419 ocupantes deixaram os camarotes. Desta feita 301 espetadores permaneceram dentro na edificação, muito além do tempo previsto para evacuação, que é de dois minutos e trinta segundos.

5.4.5.3 Cenário 3 (Espetáculo no campo)

A última simulação refere-se a um cenário atípico em que o público se encontra concentrado no interior do relvado, em elevado número, muito superior ao que foi inicialmente previsto em fase de projeto. O método de análise usado pelas autoridades locais para aprovar este tipo de evento no que á segurança diz respeito, recorrem à verificação da segurança com base em normas prescritivas. Desta feita, como as concentrações de público no interior do campo são muito maiores que as planeadas, seria de todo interessante que fosse elaborado uma verificação de segurança de evacuação baseada no desempenho ao longo de todo o percurso de evacuação.

- Total de espetadores: 11.200 pessoas (ver Figura 64);
- Tempo de simulação no FDS: 5 minutos (ver Figura 75).

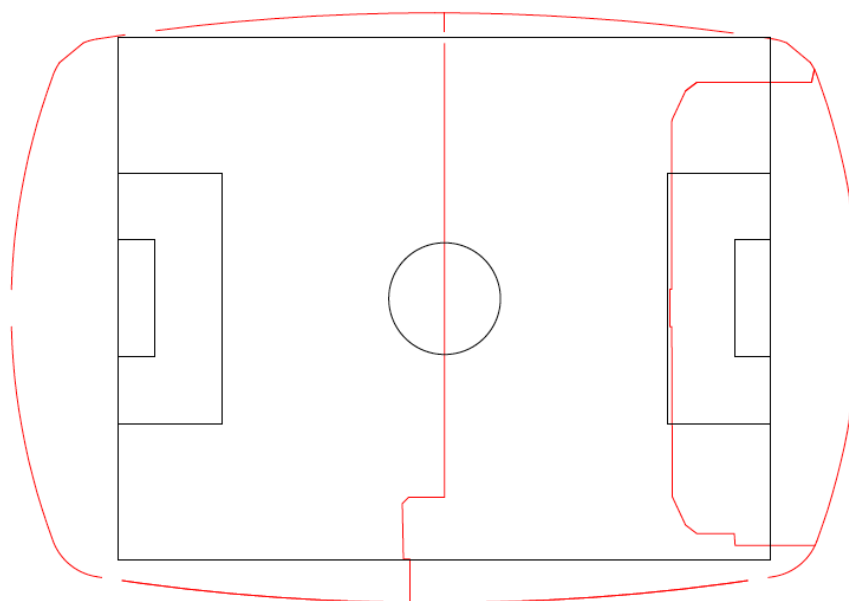


Figura 73 – Cenário de simulação 3.

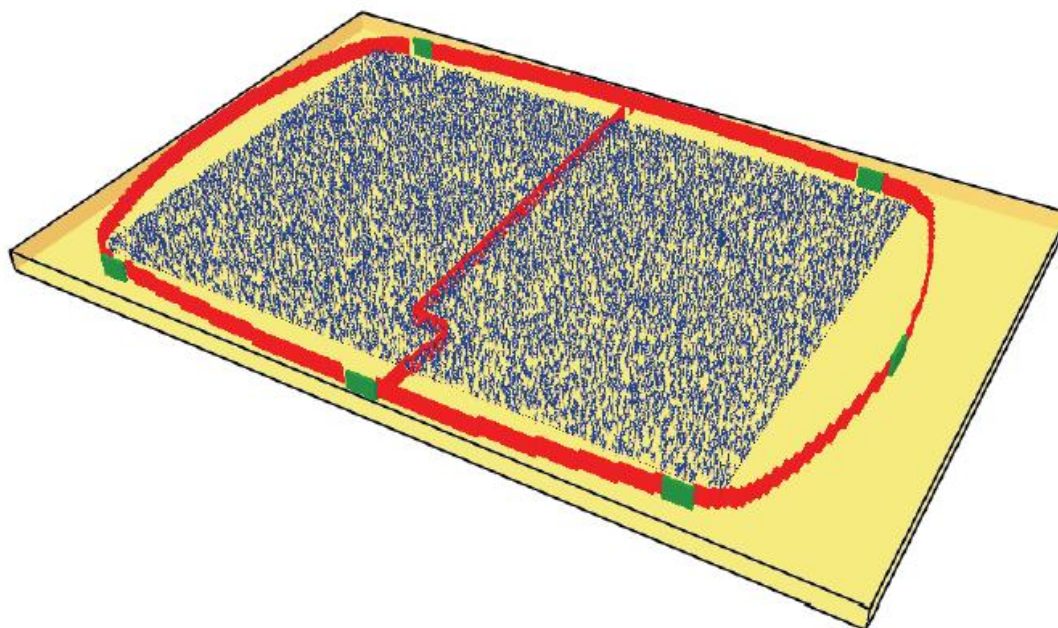


Figura 74 – Modelo de simulação 3 no FDS.

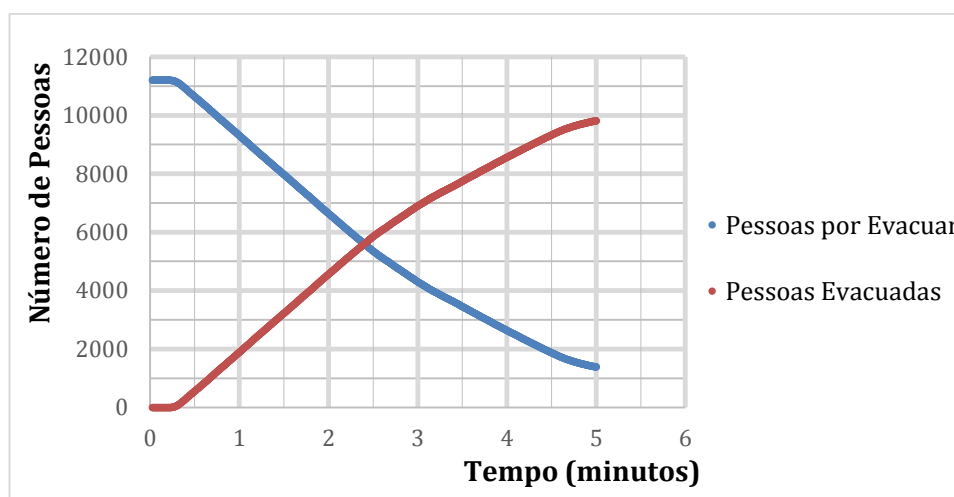


Figura 75 – Evacuação do efetivo dentro de campo.

Tal como se pode constatar na Figura 75 após cinco minutos de simulação, ainda permaneceram 1385 pessoas no interior do campo relvado. O que indica que o tempo de evacuação do cenário em causa em situação de emergência não respeita o previsto na norma.

5.4.6 Considerações Finais

O estudo do estádio Arena Castelão, passou pela análise de projeto e acompanhamento por parte das autoridades durante a sua etapa de projeto até finalizar-se a obra.

Embora o projeto tenha sido aprovado e a edificação obedeça todos os critérios referentes a sua geometria, previstos na nota técnica a que se refere o item 3.8 do capítulo 3 desta dissertação, a modelação da multidão mostrou que 13 das 16 saídas das bancadas inferiores contrariam o tempo de 8 minutos previstos prescritivamente para evacuação. No pior dos casos este tempo ultrapassa no máximo 51 segundos.

O tempo de saída das pessoas, sem situação de emergência, verificado em partidas ocorridas no estádio em estudo foi o dobro do que estava previsto pela simulação de multidões. Assim sendo, constata-se que é necessário um nível intermediário de pânico para que a multidão fique em alerta e que isso traduza num aumento de velocidade de evacuação das pessoas, e consequentemente, obter um maior número de pessoas que consiga abandonar o estádio.

Na simulação do Cenário 1 (Bancadas superiores) verificou-se que após oito minutos de simulação, ainda permaneceram nas bancadas 127 espetadores. Porém tendo em vista o cenário apresentado (onde se considerou a utilização de um vomitório para evacuação quando, numa situação normal, seriam utilizados mais dois vomitórios em simultâneo), faz com que na teoria os resultados obtidos se tornem aceitáveis e ao mesmo tempo pode aceitar-se que estão em conformidade com a modelação de multidões. Verificou-se também que os 127 ocupantes permaneceram na área simulada, mesmo estando esta completamente livres para se deslocarem até à saída.

Ao simular os camarotes do nível 3, dos 720 espetadores, apenas 419 evacuaram o local após cinco minutos de simulação. Este cenário vai de encontro ao tempo de dois minutos e meio previstos na legislação e contra o tempo máximo de evacuação de dois minutos e cinquenta e quatro segundos determinado pela modelação.

O cenário 3, referente ao espetáculo no campo relvado, tendo como dados de entrada o número de pessoas e a geometria do espetáculo da Beyoncé (ver figura 73), dos 11200 espetadores, 1385 permaneceram no campo a pós oito minutos de simulação.

Este último cenário, além de não obedecer o tempo de saída exigido em norma prescritiva, sugere uma análise mais elaborada dos pontos de encontro das saídas do campo com as áreas de circulação das bancadas inferiores, onde ocorrerá encontro de espetadores em caso de uma evacuação em emergência.

6. CONCLUSÃO

O legado deixado pelo mundial de futebol de 2014 e a importância que o futebol tem no Brasil, considerado o esporte com maior repercussão no país e as diversas tragédias que aconteceram em estádios, faz com que a segurança nestes estabelecimentos seja um fator de grande relevância para este estudo.

Com este estudo constatou-se que os fatores geradores de tragédias em estádios com maior incidência na história foram:

- Incêndio nas bancadas;
- Racismo;
- Sobrelotação no estádio ;
- Pouca ou nenhuma orientação quanto aos caminhos alternativos de fuga;
- Ruína parcial da estrutura do estádio;

Foram estudadas as legislações: americana, inglesa, portuguesa, e brasileira. Onde foi verificado a predominância da análise prescritiva, deixando no entanto, margem para o uso de desempenho na concepção do projeto. Das legislações analisadas, verificou-se uma similaridade entre elas variando na forma e os parâmetros de dimensionamento, contudo o método adotado em cada uma mantém-se praticamente o mesmo em todas elas. Isto ocorre possivelmente pelo facto de uma norma pré-existente servir de base para elaborar as posteriores.

O processo de análise prescritivo indicou que o sistema de saída de emergência foi o que mais erros apresentou durante o processo de análise (28,6% do total). Tendo em conta o ocorrido, esta situação sugere erros na concepção do projeto inicial de arquitetura e necessidade de acompanhamento de um profissional de segurança contra incêndio, o que normalmente não ocorre na região.

O processo de modelação de multidões verificou que, mesmo o projeto tendo sido aprovado pelas autoridades através de normas prescritivas, não respeitou o tempo exigido pela norma.

A simulação computacional foi similar a modelação de multidões na evacuação das bancadas superiores, mas não obteve os mesmos resultados, principalmente no que diz respeito ao caso dos camarotes internos do estádio. Para espetáculos que utilizam o campo para concentração de pessoas, a simulação indicou que os espectadores não deixam o relvado em menos de cinco minutos.

Por fim, concluiu-se que o uso de análise prescritiva estabelece parâmetros mínimos de dimensionamento, porém não garante que o abandono dos espectadores em estádios de futebol seja o ideal. Assim sendo verifica-se que a metodologia baseada no desempenho é uma ferramenta importante para verificar o sistema de evacuação em emergência e otimizar a geometria sugerida prescritivamente.

Relativamente aos trabalhos de continuidade que podem ser feitos no futuro, sugere-se a modelação do estádio através de um programa ou um método diferente do utilizado, com intuito de comparar os resultados.

Além disso, seria interessante fazer-se uma análise de desempenho ao processo de evacuação de pessoas em espetáculo que utilize o campo para concentração de pessoas, considerando todo o percurso de abandono, ou seja, desde a saída do relvado, passando pelo encontro com público existente na circulação interna abaixo das bancadas inferiores, até um local de relativa, ou total segurança.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 13.434 (2004). “*Sinalização de segurança contra incêndio e pânico: Símbolos e suas formas, dimensões e cores*”. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.

ABNT. NBR 14.432 (2001). “*Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimentos*”. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.

Alvear, Daniel et al. (2007). “*Modelado y Simulación Computacional de Incendios en la Edificación*”. Ediciones Díaz de Santos: Santander.

Alves, Alessandra B. C. G. (2010). “*A questão do escape em edifícios altos: A influência do fumo de incêndio na proteção da vida*”. Tese (Doutoramento). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília (UnB). Brasília – DF.

Araújo, Sérgio Baptista (2013). “*Proteção Da Vida Humana Em Incêndio – Conceitos técnicos*”, SIGMA SMS, 1.ª Edição, Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9077 (2001). “*Saídas de emergência em edifícios*”. Rio de Janeiro: ABNT.

Berto, A. F., Tomina, J. C. (1988). “*Passarelas elevadas e outras rotas alternativas de fuga adaptação de segurança contra incêndio de edifícios altos de escritório*”. Tecnologia de Edificações. Editora PINI. São Paulo.

Braga, George C. B., Campos, André T. (2010). “*Aplicação do FDS+Evac para Validação de Requisitos Normativos de Saídas de Emergência e Comparação com Parâmetros de Desempenho*”. Diretoria de pesquisa, Ciência e Tecnologia do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, Brasília.

Braga, George C. B., Campos, André T., Alves, Alessandra B. C. G. (2010). “*Simulação Computacional de Incêndio Aplicada ao Projeto de Arquitetura*”. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília.

- Brentano, Telmo (2007). “*A Proteção contra incêndios em edificações*”. 1. ed. Porto Alegre: T edições.
- Brown, R. (1965). “*Social Psychology*”. The Free Press, New York.
- Canter, D. (1990). “*Fires and Human Behavior*”. David Fulton, London.
- Carneiro, L. O. (2010). “*Simulação computacional de multidões por Autômato Celular – Estudo de caso em um Estádio de Futebol*”. Dissertação (Obtenção de título de mestre). Universidade Federal do Ceará, Ceará.
- CBMCE. Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Ceará. Norma Técnica 001 (2008). “*Procedimentos administrativos*”. Ceará.
- CBMCE. Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Ceará. Norma Técnica 002 (2008). “*Terminologia e simbologia de segurança contra incêndio e pânico*”. Ceará.
- CBMCE. Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Ceará. Norma Técnica 003 (2008). “*Saídas de emergência em centros esportivos ou de exibição*”. Ceará.
- CBMCE. Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Ceará. Norma Técnica 004 (2008). “*Sistema de proteção por aparelhos extintores*”. Ceará.
- CBMCE. Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Ceará. Norma Técnica 005 (2008). “*Saídas de emergência*”. Ceará.
- CBMCE. Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Ceará. Norma Técnica 006 (2008). “*Sistema de hidrantes para combate a incêndio*”. Ceará: 2008.
- CBMCE. Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Ceará. Norma Técnica 007 (2008). “*Manipulação, armazenamento, comercialização e utilização de gás liquefeito de petróleo*”. Ceará.
- CBMCE. Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Ceará. Norma Técnica 008 (2008). “*Carga de Incêndio*”. Ceará.
- CBMCE. Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Ceará. Norma Técnica 009 (2008). “*Iluminação de emergência*”. Ceará.

- CBMCE. Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Ceará. Norma Técnica 010 (2008). *“Acesso de viaturas”*. Ceará.
- CBMCE. Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Ceará. Norma Técnica 011 (2008). *“Deslocamento de viaturas na zona urbana”*. Ceará.
- CBMCE. Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Ceará. Norma Técnica 012 (2008). *“Sistema de deteção e alarme”*. Ceará.
- CBMCE. Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Ceará. Norma Técnica 015 (2008). *“Sistema de chuveiros automáticos”*. Ceará.
- Coelho, A. L. (1997). *“Modelação Matemática da Evacuação de Edifícios Sujeitos à Acção de um Incêndio”*. Tese de Doutoramento, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Volumes I e II.
- Coelho, A. L. (2010). *“Incêndios em Edifícios”*. 1ª edição. Edições Orion, Amadora.
- Coelho, A. L. (2006). *“Proposta De Um Nova Metodologia De Abordagem À Segurança Contra Incêndio Em Portugal”*. Programa conjunto de Investigação e pós-graduação a apresentar às provas públicas para obtenção do título de habilitado para exercício de funções de coordenação científica. LNEC, Lisboa.
- Cordeiro, E. C. (2010). *“Modelação do Comportamento das Pessoas em Caso de Incêndio”*. Tese (Mestrado). Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Costa, B. R. C. E. (2009). *“Aplicação de um Modelo Numérico na Avaliação da Evacuação de Edifício”*. Tese (Mestrado). Universidade do Porto, Porto.
- Dehaan, J. D. (2007). *“Kirk’s Fire Investigation”*. 6th Edition. Person Prentice Hall. Vallejo, CA, USA.
- Dias, R. M. M. (2010). *“Avaliação da Evacuação de um Hospital de Grandes Dimensões”*. Tese (Mestrado). Universidade do Porto, Porto.
- Dinno, P. J. et al. (2002). *“The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering”*. 3rd ed., Quincy: National Fire Protection Association.

Elliott, D. S. “*Football stadia disasters in the United Kingdom: learning from tragedy?*” *Industrial & Environmental Crisis Quarterly* 7(3), 205-229 (1993). LEBON, G. *The Crowd* (Viking, New York, 1960).

Fahy, R. F., (2002). “*Tools of the simulation of human behavior*”, *Fire Protection Engineering*.

FIFA (2011). “*Estádio Castelão: Modelagem do Fluxo de Multidões*”. Relatório elaborado para Copa do Mundo de 2014. Ceará.

FIFA. “*Football Stadiums -Technical recommendations and requirements*”. 4.^{ed.} FIFA: Zurich, 2007. *GUIDE TO SAFETY AT SPORTS GROUNDS (Green Guide)*. 5.^{ed.} United Kingdom, 2008.

Fitzgeralds, R. W. (1997). “*Fire protection handbook – Fundamentals of fire safe building desing*”. Secion 1 – Capter 2. Eighteenth Edition, Second printing. Massachusetts.

Glance, N. S., HUBERMAN, B. A. (1994). “*The dynamics of social dilemmas. Scientific American*”.

Grigorovski, R. A., Gomes, T. H. G. (2007). “*Manual de Operações Em Estádios*”, CBMRJ, 1.^a Edição.

Hadjisophcleous, G., Benichou, N. (2000). “*Development of performance-based codes, performance critéria and fire safety engineering methods*”. National Fire Laboratory, National Research Council of Canada.

Helbing D., Buzna L., Werner T. (2003). “*Self-Organized Pedestrian Crowd: Dynamics and Design Solutions*”.

Jacobs, B. D., Hart, P. (1992). “*Disaster at Hillsborough stadium: a comparative analysis*”. In Parker, D. J. & Handmer, J. W. (eds.) *Hazard Management and Emergency Planning*, James & James Science, London.

Johnson, N. (1988). “*Fire in a crowded theater: A descriptive investigation of the emergence of panic*”. *International Journal of Mass Emergencies and Disasters*.

Johnson, N. R. (1987). “*Panic at 'The Who Concert Stampede': An empirical assessment*”. *Social Problems* 34(4), 362-373.

- Keating, J. P. (1982). *“The myth of panic”*. Fire Journal. May 1982.
- Kelley, H. H., Condry, J. C. J., Dahlke, A. E., Hill, A. H. (1965). Collective behavior in a simulated panic situation. Journal of Experimental Social Psychology.
- Korhonen, T., Hostikka, S. (2010). *“Fire dynamics Simulator with evacuation: Technical reference and user’s guide”*. Finlândia, VTT.
- Kuligowski, E. (2009). *“The process of human Behavior in Fires”*. National Institute of Standards and Technology.
- Li-Jun, J., Jin-Chang, C., Wei-Jie, Z. (2009). *“A crowd evacuation simulation model based on dimension cellular automaton”*. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Virtual Environments, Human–Computer Interfaces and Measurements Systems, p. 90 – 95.
- Mcgrattan, K. et al. (2010) *“Fire Dynamics Simulator (version 5): User’s guide”*. Washington: National Institute of Standards and Technology.
- Mintz, A. (1951). *“Non-adaptive group behavior”*. The Journal of Abnormal and Normal Social Psychology 46.
- Nelson, H. E., Mowrer, F.W. (2002). *“Emergency Movement”*. In: Dinunno, P.J. et al. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd edition. Quincy: National Fire Protection Association, Chapter 14.
- Neto, J. S. C. (1994) *“Edifícios de alta tecnologia”*. São Paulo, Carthago & Forte.
- Neves, I. C. (2000). *“Segurança contra incêndios em centros urbanos antigos”*. Évora, LNEC.
- NFPA 101 (2009). *“Life Safety Code Handbook”*. National Fire Protection Association, Quincy, MA, USA.
- 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”*. Tese (Obtenção de título de livre-docente). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo.

Ono, R. (1996). “*Pesquisa estatística de incêndio e Trabalhos de Bombeiros*”. Anuais da IV Conferência Nacional de Estatística – CONFEST, vol. 1 – A sociedade. Ministério da Fazenda. Fundação IBGE, Rio de Janeiro, 1996.

Pannoni, F. D., Silva, V. P. E. (2008). “*Engenharia de segurança contra incêndio*”. In: Seito, A. I. (coord.) et al. *A segurança contra incêndio no Brasil*. São Paulo: Projeto Editora, p. 411-427.

Pauls, J. L. (1980) “*Building Evacuation: Research Findings and Recommendations*”.

Pinto, N. M. (2008). “*Novos Contributos para a Modelação da Evacuação de Edifícios em Situação de Emergência*”. Tese de mestrado em Segurança Contra Incêndios Urbanos, Coimbra, Dezembro 2008.

Portugal – Leis, decretos, etc. *Regime Jurídico Da Segurança Contra Incêndios Em Edifícios (RJSCIE)*, Decreto- Lei n.º 220/08, de 12 de Novembro;

Portugal – Leis, decretos, etc. *Regulamento das condições técnicas e de segurança nos estádios*. Decreto Regulamentar 10/2001, de 7 de julho.

Portugal – Leis, decretos, etc. *Regulamento Técnico De Segurança Contra Incêndios Em Edifícios (RTSCIE)*, Portaria n.º 1532/08, de 29 de Dezembro.

Predtechsnkii, V. M., Milinskii, A. I. (1978). “*Planning for Foot Traffic Flow in Buildings*”. New Delhi: Amerind Publishing.

Proulx, G., Reid, I. M. A., Cavan, N. R., (2003). “*Human Behavior Study Cook County Administration Building Fire*”– Chicago, IL”, National Research Council Canada, Research Report No. 181. October 17.

Quarantelli, E. (1957). “*The behavior of panic participants*”. *Sociology and Social Research* 41.

Revista Proteger Nº 7, de abril de 2010.

Rizzo, B. (2007). “*Estimativa do quantitativo de indivíduos em multidões*”. Biblioteca Nacional Brasileira. Edição revisada, Rio de Janeiro.

Saloma, C., Perez, G. J., Tapang, G., Lim, M., Palmes C. (2003) “*Self-organized queuing and*

scale-free behavior in real escape panic”.

Seito, A. I. et al. (2008). “*A Segurança Contra Incêndio no Brasil*”. São Paulo: Projeto Editora.

SENASP (2010). “*Nota Técnica de Referência em Prevenção Contra Incêndio e Pânico em Estádios e Áreas Afins*”. Brasília – DF.

Shields, T. J., Boyce, K. E. (2000). “*A study of evacuation from large retail stores*”. Fire Safety Journal 35.

Smelser, N. J. (1963). “*Theory of Collective Behavior*”. The Free Press, New York.

Steinberg, J. G. (2005). “*Desenvolvimento de modelo para simulação de situações de evacuação de multidões*”. Dissertação (Obtenção de título de mestre). Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.

Tannehill, J. C., Anderson, D. A., Pletcher, R. C. (1997). “*Computational fluid mechanics and heat transfer*”. 2 ed. EUA: Taylor & Francis.

Tavares, R. M. (2008) “*Prescriptive codes vs. performance-based codes: which one is the best fire safety code for the Brazilian context?*”. Safety Science Monitor. v. 12, n. 1, p. 1-10.

Tavares, R. M., Silva, A. C. P., Duarte, D. (2002). “*Códigos prescritivos x códigos baseados no desempenho: Qual é a melhor opção para o contexto do Brasil?*”. In: XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Curitiba, PR. Anais. ABEPRO: Rio de Janeiro, pp. 1-8.

UOL. <http://esporte.uol.com.br/futebol/album/2014/04/15/25-anos-da-tragedia-de-hillsborough.htm>. Acesso em: 10 de jul de 2014.

Vila Real, P. M. M. (2003). “*Incêndio em Estruturas Metálicas – Cálculo Estrutural*”, Edições Orion, 1.^a Edição.

Wei-Guo, S., Yan-Fei, Y., Bing-Hong, W., Wei-Cheng, F. (2006). “*Evacuation behaviors at exit in CA model with force essentials: A comparison with social force model*”. Physica A: Statistical and Theoretical Physics, v. 371, n. 2.

WIKIPÉDIA. Enciclopédia digital. <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Violência>>. Acesso em: 10 jul de 2014.

Yang, L. Z., Zhao, D. L., Li J., Fang, T. Y. (2005). “*Simulation of the kin behavior in building occupant evacuation based on cellular automaton*”. Building and Environment, v. 40, n. 3.

Zhao, C. M. et al. (2009). “*A Post-fire Survey on the Pre-evacuation Human Behavior*”, Fire Technology, 45, Springer Science+Business Media.

Zheng, X., Zhong, T., Liu, M. (2009). “*Modeling crowd evacuation of a building based on seven methodological approaches*”. Building and Environment, v. 44, n. 3. ISSN 0360-1323