ROSARIA ONO

O IMPACTO DO MÉTODO DE
DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA
SOBRE O PROJETO ARQUITETÔNICO
DE EDIFÍCIOS ALTOS:

Uma análise crítica e proposta de
aprimoramento

Tese apresentada à
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
da Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Livre-Docente
junto ao Departamento de Tecnologia
da Arquitetura e Urbanismo

São Paulo
2010

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
ROSARIA ONO

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo da Publicação
Setor de Informação, Documentação e Editoração em Nível de Pós-Graduação
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo

O58i Ono, Rosaria
O impacto do método de dimensionamento das saídas de emergência sobre o projeto arquitetônico de edifícios altos : uma análise crítica e proposta de aprimoramento / Rosaria Ono. – São Paulo, 2010.
457 p. : il.

Tese (Livre Docência - Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura) – FAUUSP.

1. Instalações prediais de segurança – Simulação computacional 2. Normas técnicas 3. Edifícios altos
4. Edifícios de escritório I. Título

CDU 699.8

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
ROSARIA ONO

À pesquisadora Guylène Proulx,
pela sua vida dedicada aos estudos de segurança contra incêndio e
comportamento humano.

À minha querida filha Isabelle Moe,
pelas muitas noites e pelos finais de semana sem a devida atenção materna.

AGRADECIMENTOS

Ao Fúlvio, que sempre estimulou e incentivou o desenvolvimento das minhas atividades acadêmicas, e me deu apoio incondicional nesta empreitada;

Aos meus pais, Setsuko e Moichi, e minha irmã Malyina, que se desdobraram no cuidado com Isabelle, dando todo o apoio possível para viabilizar a conclusão deste trabalho;

Aos membros do Grupo de Pesquisa “Qualidade e Desempenho no Ambiente Construído” da FAUUSP, liderados competentemente pela Profa. Dra. Sheila Walbe Ornstein, que contribuíram tanto direta como indiretamente na reflexão sobre o tema e o desenvolvimento deste trabalho e, em especial, ao Pesquisador Marcos Vargas Valentin, pela contribuição direta nesta tese;

Aos professores do Departamento de Tecnologia da Arquitetura da FAUUSP, em especial a todos os meus colegas de disciplinas, pelo coleguismo e estímulo às minhas atividades acadêmicas;

A toda equipe da Secretaria do Departamento de Tecnologia da Arquitetura da FAUUSP, pelo grande e competente apoio que recebo desde meu ingresso nesta faculdade e que não poderia ser diferente durante o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

ONO, R. **O Impacto do Método de Dimensionamento das Saídas de Emergência sobre o Projeto Arquitetônico de Edifícios Altos: Uma análise crítica e proposta de aprimoramento**. 2010. 457 p. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

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, cujos resultados visaram 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 faseado 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 de rotas 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.

Palavras-chave: saídas de emergência; edifícios altos de escritório; segurança contra incêndio; projeto arquitetônico; modelos computacionais; abandono; evacuação.

ABSTRACT

ONO, R. **The Impact of Means of Egress on High-Rise Building Design: critical analysis and improvements**. 2010. 457 p. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

The design of means of egress in buildings according to the Brazilian Technical Standard and the building and fire codes in the State of São Paulo are the main subjects of this thesis. Its objective is the analysis of their impact on the design of high-rise office buildings and the discussion of new parameters, aiming at the improvement of prescriptive design methods. Therefore, this thesis presents an analysis of national and international literature related to the subject, a comparative analysis of egress design methods and a discussion on the conceptual differences between those and the performance-based methods. The validation of prescriptive egress design methods were carried out by means of computational simulation models in order to verify their influence on the egress design of high-rise buildings. Different egress design criteria resulted in different egress width and numbers, thus, in different design solutions. The results of computational simulations showed that for simple situations, such as horizontal egress and evacuation of few floors, the prescriptive design methods generate conservative numbers. However, for more complex situations, such as evacuation of several floors by stairs, the same numbers may not be sufficient for a safe and smooth evacuation of the building occupants. The most critical point on the evacuation of high-rise building is the limited flux of people through staircases. Specifically, for the egress design of high-rise buildings, it is necessary to adopt the phased evacuation strategy, as designing for total and simultaneous evacuation would lead to very large widths and number of exits. This information, however, is not clearly declared in any of the analyzed documents. It is also necessary to emphasize that an egress design method can not be adopted to solve fire exit issues for all types of occupancies.

Keywords: means of egress; high-rise office buildings; fire safety; architectural design; computational models; evacuation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Exemplos de edifícios altos.	9
Figura 1.2 – Edifícios em projeto com mais de 1000m de altura	9
Figura 1.3 - Edifício Andraus em chamas.....	12
Figura 1.4 - Incêndio nas Torres de Escritórios da CESP.	15
Figura 2.1 – Largura e altura livre de vias públicas para passagem de veículos de bombeiros.	26
Figura 2.2 – Condições topográfica e nível de adensamento das cidades.....	26
Figura 2.3 – Infraestrutura urbana – Rede de hidrantes urbanos.....	27
Figura 2.4 – Exemplos de dimensões de veículos de bombeiros.	28
Figura 2.5 – Afastamento entre edificações.....	29
Figura 2.6 – Condições de acesso à fachada principal da edificação.	30
Figura 2.7 – Evolução do incêndio.	33
Figura 2.8 – Aspecto da propagação horizontal do incêndio em ambientes não compartimentados.....	34
Figura 2.9 – Efeito da compartimentação vertical.....	35
Figura 2.10 – Elementos de compartimentação horizontal.	36
Figura 2.11 – Elementos de compartimentação vertical de fachadas.	37
Figura 2.12 – Compartimentação vertical de dutos.	37
Figura 2.13 – A influência da contenção e exaustão natural da fumaça.....	38
Figura 3.1 – Tempo para abandono.....	52
Figura 3.2 – Passagem de bombeiros no contrafluxo durante a evacuação de uma das torres gêmeas do WTC, em 11 /09/2001.....	63
Figura 4.1 – Medida da largura efetiva (L_e) de escada em relação a paredes e corrimãos.	75
Figura 4.2 – Arranjo de pessoas num teste de fluxo máximo numa escada de 1120 mm de largura.	76
Figura 4.3 – Elipse do corpo humano.	77
Figura 4.4 - Variação da velocidade em função da densidade	80

Figura 4.5 – Variação do fluxo específico de evacuação em função da densidade de ocupação.	80
Figura 4.6 - Velocidade de caminhamento na horizontal em função da densidade para condições normais, de emergência e de conforto.....	84
Figura 4.7 – Representação gráfica das expressões de velocidade de caminhamento horizontal.	84
Figura 4.8 – Representação gráfica dos fluxos específicos em função da densidade de pessoas, de acordo com as expressões de diferentes autores para o caminhamento horizontal.	85
Figura 4.9 – Representação gráfica das expressões de velocidade descendente em escadas.....	91
Figura 4.10 - Representação gráfica dos fluxos específicos em função da densidade de pessoas, de acordo com a expressões de diferentes autores para o caminhamento descendente em escadas.....	91
Figura 4.11 – Relação entre densidade e velocidade em movimento descendente em escadas, com variação na inclinação da escada.....	92
Figura 4.12 – Exemplos de tipos de transição	94
Figura 4.13 – Zonas de transição divergente (ΔI_d) e convergente (ΔI_c).	97
Figura 4.14 – Desenho esquemático de 3 fluxos convergentes.	99
Figura 4.15 – Velocidade média de caminhamento em função do logaritmo do nível de iluminação no plano do piso da rota de fuga.....	106
Figura 4.16 – Velocidade média de caminhamento corredores de três experimentos com iluminação de emergência.	107
Figura 4.17 - Velocidade de caminhamento em ambiente com fumaça.....	109
Figura 4.18 – Representação da distribuição do tempo de pré-movimento e seus efeitos em diferentes níveis de gerenciamento da segurança contra incêndio..	112
Figura 4.19 - Tempos totais observados e deduzidos de evacuação para edifícios altos de escritórios no Canadá.....	116
Figura 4.20 - Tempos totais observados e deduzidos de evacuação para edifícios altos incorporando resultados de outros estudos.....	117
Figura 4.21 – Evacuação total, sem controle, de um edifício de escritórios de 15 pavimentos.....	117
Figura 4.22 - Evacuação parcial, controlada, de um edifício de escritórios de 15 pavimentos.....	118
Figura 5.1 – Saliências em saídas.....	137

Figura 5.2 – Abertura de portas no sentido do trânsito de saída.....	137
Figura 5.3 – Detalhes do bocel.....	144
Figura 5.4 – Escada enclausurada protegida.	145
Figura 5.5 – Escada enclausurada à prova de fumaça (planta).	145
Figura 5.6 – Cortes AA e BB, dos dutos de ventilação da Figura anterior.	146
Figura 5.7 – Dimensões de guardas e corrimãos.	148
Figura 5.8 – Detalhes construtivos de guardas.....	148
Figura 5.9 – Dimensões e detalhe de fixação de corrimão.....	149
Figura 5.10 – Planta esquemática de área de refúgio.	150
Figura 5.11 – Largura de corredores no piso de descarga.....	151
Figura 5.12 – Planta esquemática de acesso de galeria comercial à descarga.	152
Figura 5.13 – Desenhos esquemáticos do duto de ventilação de antecâmaras (COE). ...	175
Figura 5.14 – Exemplo de dimensionamento de escadas para edifícios altos.	182
Figura 5.15 – Exemplo de número mínimo de saídas para construções novas.	183
Figura 5.16 – Exemplos de aplicação da regra de distribuição de saídas de pavimento.	184
Figura 5.17 – Exemplo de saída em uma única direção	186
Figura 5.18 – Corredor sem saída.	186
Figura 5.19 – Corredor sem saída combinado com compartimento com uma única direção de saída.	187
Figura 5.20 – Tolerância de saliência de porta em rota de fuga.	188
Figura 5.21 – Corredor protegido no pavimento de descarga	189
Figura 5.22 – Corredor protegido no acesso a uma escada protegida.....	190
Figura 5.23 – Proteção de escadas contra exposição ao calor na fachada.	193
Figura 5.24 – Proteção de aberturas em escadas externas – Exemplos.....	194
Figura 5.25 – Exemplos de escadas à prova de fumaça.	195
Figura 5.26 – Posição das aberturas de ventilação mecânica em escadas à prova de fumaça.....	195
Figura 5.27 – Largura máxima permitida sem corrimão intermediário / central.....	197
Figura 5.28 – Detalhes de corrimãos.	198
Figura 5.29 – Guarda-corpo com balaustres.	199

Figura 5.30 – Exemplo comparativo de um mesmo edifício, sem (a) e com (b) adoção das saídas horizontais.	202
Figura 5.31 – Exemplos de tipos de saída no piso de descarga.	204
Figura 5.32 – Exemplo de pavimento com áreas de refúgio criadas por saída horizontal em edificação sem instalação de chuveiros automáticos.	206
Figura 5.33 – Escada de emergência utilizada como área de refúgio acessível.	206
Figura 6.1 – Etapas do processo de desenvolvimento do projeto.	222
Figura 6.2 – Conteúdo do “Fire Engineering Brief (FEB)”.	223
Figura 6.3 – Processo de Análise da Tentativa de Projeto.	226
Figura 6.4 – Processo básico de engenharia - BS 7974.	231
Figura 6.5 – Fluxograma ilustrando do processo de engenharia de segurança contra incêndio – Projeto, implementação e manutenção.	235
Figura 6.6 – Processo de projeto com base no desempenho – NFPA 101.	241
Figura 6.7 – Linha de tempo da detecção do incêndio e da evacuação.	246
Figura 6.8 – Fluxograma da análise de evacuação.	247
Figura 6.9 – Fluxograma para quantificação do período de evidência.	250
Figura 6.10 – Fluxograma para quantificação o período de resposta.	251
Figura 6.11 - Esquema simplificado do processo que envolve o tempo de evacuação, comparado ao tempo disponível para evacuação segura.	258
Figura 6.12 – Fluxograma da engenharia da segurança à vida.	267
Figura 7.1 – Largura de corredor em função da população atendida (NBR 9077).	285
Figura 7.2 – Largura de corredor em função da população atendida, para valores de 0,5N.	285
Figura 7.3 – Largura de escada em função da lotação do pavimento (NBR 9077).	287
Figura 7.4 – Largura de escadas em função da lotação do pavimento, para valores de 0,5N.	287
Figura 7.5 – Relação entre lotação de origem (L_o) e lotação corrigida (L_c) em corredores ($K=100$).	297
Figura 7.6 – Relação entre lotação de origem (L_o) e largura total para corredores ($K=100$).	297
Figura 7.7 – Relação entre lotação de origem (L_o) e lotação corrigida (L_c) para corredores ($K=250$).	300
Figura 7.8 - Relação entre lotação de origem (L_o) e largura total para corredores ($K=250$).	301

Figura 7.9 – Relação entre lotação de origem (Lo) e lotação corrigida (Lc) em escadas.	304
Figura 7.10 – Relação entre lotação de origem e largura total para escadas.	304
Figura 7.11 – Largura do corredor em função da lotação do pavimento (NFPA 101).....	310
Figura 7.12 - Largura das escadas em função da lotação do pavimento (NFPA 101).	311
Figura 7.13 – Exemplo de cálculo de largura de escadas para edifício alto, com lotação de 250 pessoas por pavimento.	315
Figura 8.1 – Representação gráfica dos nós e arcos.....	323
Figura 8.2 – Interação entre submodelos e geometria.	325
Figura 8.3 – Exemplo de visualização do modelo em simulação.....	326
Figura 8.4 – Tempo médio para saída de 125 pessoas de um compartimento por uma porta de 1,0m de largura.	330
Figura 8.5 – Tempos médios de abandono de cada pavimento para escada de 0,76m de largura.	332
Figura 8.6 – Tempo para passagem dos ocupantes entre patamares da escada nos pavimentos, para escada de 0,76m de largura.....	333
Figura 8.7 – Representação em planta do ambiente e da escada de um pavimento, durante o movimento de abandono.....	333
Figura 8.8 – Aglomeração dos sujeitos junto ao acesso à escada de 0,76m de largura.	334
Figura 8.9 – Tempos médios de abandono de cada pavimento para escada de 1,52m de largura.	335
Figura 8.10 - Tempo para passagem dos ocupantes entre patamares da escada nos pavimentos para escada de 1,52m de largura.....	336
Figura 8.11 – Tempos médios de abandono de cada pavimento para escada de 2,28m de largura.	337
Figura 8.12 - Tempo para passagem dos ocupantes entre patamares da escada nos pavimentos para escada de 2,28m de largura.....	338
Figura 8.13 – Vista superior do indivíduo.	341
Figura 8.14 - Número de pessoas no ambiente, ao longo do tempo, com o ambiente com uma porta de 0,80 m de largura.	349
Figura 8.15 – Posição dos ocupantes, após 20s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 0,80m de largura.....	350
Figura 8.16 – Posição dos ocupantes, após 30s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 0,80m de largura.....	350

Figura 8.17 – Posição dos ocupantes, após 40s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 0,80m de largura.....	350
Figura 8.18 – Posição dos ocupantes, após 50s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 0,80m de largura.	350
Figura 8.19 – Posição dos ocupantes, após 60s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 0,80m de largura.	350
Figura 8.20 – Posição dos ocupantes, após 70s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 0,80m de largura.	350
Figura 8.21 – Posição dos ocupantes, após 80s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 0,80m de largura.	351
Figura 8.22 – Posição dos ocupantes, após 90s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 0,80m de largura.	351
Figura 8.23: Número de pessoas no ambiente, ao longo do tempo, com o ambiente com uma porta de 1,00 m de largura.	351
Figura 8.24 – Posição dos ocupantes, após 20s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,00 m de largura.	352
Figura 8.25 – Posição dos ocupantes, após 30s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,00 m de largura.	352
Figura 8.26 – Posição dos ocupantes, após 40s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,00 m m de largura.	352
Figura 8.27 – Posição dos ocupantes, após 50s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,00 m de largura.	352
Figura 8.28 – Posição dos ocupantes, após 60s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,00 m m de largura.	353
Figura 8.29 – Posição dos ocupantes, após 70s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,00 m de largura.	353
Figura 8.30 - Número de pessoas no ambiente, ao longo do tempo, com o ambiente com uma porta de 1,20 m de largura.	353
Figura 8.31 - Posição dos ocupantes, após 20 s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,20 m de largura.	354
Figura 8.32 - Posição dos ocupantes, após 30 s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,20 m de largura.	354
Figura 8.33 - Posição dos ocupantes, após 40 s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,20 m de largura.	354
Figura 8.34 - Posição dos ocupantes, após 50 s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,20 m de largura.	354

Figura 8.35 – Detalhe da posição dos ocupantes nas proximidades da porta, após 40 s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,20 m de largura.	355
Figura 8.36: Número de pessoas no ambiente, ao longo do tempo, com o ambiente com uma porta de 1,60 m de largura.	355
Figura 8.37: Posição dos ocupantes, após 20 s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,60 m de largura.	356
Figura 8.38: Posição dos ocupantes, após 30 s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,60 m de largura.	356
Figura 8.39: Posição dos ocupantes, após 40 s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,60 m de largura.	356
Figura 8.40: Posição dos ocupantes, após 50 s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,60 m de largura.	356
Figura 8.41: Número de pessoas no ambiente, ao longo do tempo, com o ambiente com uma porta de 1,80 m de largura.	357
Figura 8.42: Posição dos ocupantes, após 20 s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,80 m de largura.	357
Figura 8.43: Posição dos ocupantes, após 30 s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,80 m de largura.	357
Figura 8.44: Posição dos ocupantes, após 40 s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,80 m de largura.	358
Figura 8.45: Posição dos ocupantes, após 47 s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,80 m de largura.	358
Figura 8.46: Número de pessoas no ambiente, ao longo do tempo, com o ambiente com uma porta de 2,00 m de largura.	358
Figura 8.47: Posição dos ocupantes, após 20 s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 2,00 m de largura.	359
Figura 8.48: Posição dos ocupantes, após 30 s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 2,00 m de largura.	359
Figura 8.49: Posição dos ocupantes, após 40 s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 2,00 m de largura.	359
Figura 8.50: Posição dos ocupantes, após 45 s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 2,00 m de largura.	359
Figura 8.51 - Número médio de pessoas no ambiente, ao longo do tempo, para as diferentes larguras de porta.	361
Figura 8.52 - Curva da relação entre largura da porta e tempo médio de evacuação....	362

Figura 8.53 - Número de pessoas no corredor de 1,20 m de largura, ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.	365
Figura 8.54 - Número de pessoas no corredor de 1,20 m de largura, ao longo do tempo - média de 30 simulações.	365
Figura 8.55 - Posição dos ocupantes, após 10s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 1,20 m de largura.	366
Figura 8.56 - Posição dos ocupantes, após 73s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 1,20 m de largura.	367
Figura 8.57 - Posição dos ocupantes, após 110s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 1,20 m de largura.	367
Figura 8.58 - Número de pessoas que percorre a distância de 5m no corredor de 1,20m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.	368
Figura 8.59 - Número de pessoas que percorre a distância de 10m no corredor de 1,20m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.	369
Figura 8.60 - Número de pessoas que percorre a distância de 20m no corredor de 1,20m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.	369
Figura 8.61 - Número de pessoas que percorre a distância de 30m no corredor de 1,20m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.	370
Figura 8.62 - Número de pessoas que percorre a distância de 40m no corredor de 1,20m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.	370
Figura 8.63 - Número de pessoas que percorre a distância de 50m no corredor de 1,20m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.	371
Figura 8.64 - Número de pessoas que percorre uma dada distância no corredor de 1,20 m de largura, ao longo do tempo – média de 30 simulações.	372
Figura 8.65 - Número de pessoas no corredor de 1,50m de largura, ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.	373
Figura 8.66 - Número de pessoas no corredor de 1,50m de largura, ao longo do tempo - média de 30 simulações.	374
Figura 8.67 - Posição dos ocupantes, após 16s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 1,50 m de largura.	375
Figura 8.68 - Posição dos ocupantes, após 53s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 1,50 m de largura.	375
Figura 8.69 - Posição dos ocupantes, após 85s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 1,50 m de largura.	376
Figura 8.70 - Detalhe da posição dos ocupantes do último grupo, após 85s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 1,50 m de largura.	376

Figura 8.71 - Número de pessoas que percorre a distância de 5m no corredor de 1,50m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.	377
Figura 8.72 - Número de pessoas que percorre a distância de 10m no corredor de 1,50m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.	378
Figura 8.73 - Número de pessoas que percorre a distância de 20m no corredor de 1,50m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.	378
Figura 8.74 - Número de pessoas que percorre a distância de 30m no corredor de 1,50m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.	379
Figura 8.75 - Número de pessoas que percorre a distância de 40m no corredor de 1,50m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.	379
Figura 8.76 - Número de pessoas que percorre a distância de 50m no corredor de 1,50m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.	380
Figura 8.77 - Número de pessoas que percorre uma dada distância no corredor de 1,50 m de largura, ao longo do tempo – média de 30 simulações.....	381
Figura 8.78 - Número de pessoas no corredor de 1,80m de largura, ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.	382
Figura 8.79 - Número de pessoas no corredor de 1,80m de largura, ao longo do tempo - média de 30 simulações.....	383
Figura 8.80 - Posição dos ocupantes, após 12s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 1,80 m de largura.	384
Figura 8.81 - Posição dos ocupantes, após 46s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 1,80 m de largura.	384
Figura 8.82 - Posição dos ocupantes, após 85s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 1,80 m de largura.	385
Figura 8.83 – Detalhe da posição dos últimos ocupantes, após 85s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 1,80 m de largura.....	385
Figura 8.84 - Número de pessoas que percorre a distância de 5m no corredor de 1,80m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.	386
Figura 8.85 - Número de pessoas que percorre a distância de 10m no corredor de 1,80m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.	386
Figura 8.86 - Número de pessoas que percorre a distância de 20m no corredor de 1,80m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.	387
Figura 8.87 - Número de pessoas que percorre a distância de 30m no corredor de 1,80m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.	387
Figura 8.88 - Número de pessoas que percorre a distância de 40m no corredor de 1,80m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.	388

Figura 8.89 - Número de pessoas que percorre a distância de 50m no corredor de 1,80m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.	388
Figura 8.90 - Número de pessoas que percorre uma dada distância no corredor de 1,80m de largura, ao longo do tempo – média de 30 simulações.	389
Figura 8.91 - Número de pessoas no corredor de 2,10m de largura, ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.	390
Figura 8.92 - Número de pessoas no corredor de 2,10m de largura, ao longo do tempo - média de 30 simulações.	391
Figura 8.93: Posição dos ocupantes, após 10s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 2,10 m de largura.	392
Figura 8.94: Posição dos ocupantes, após 38s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 2,10 m de largura.	392
Figura 8.95: Posição dos ocupantes, após 70s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 2,10 m de largura.	393
Figura 8.96: Detalhe da posição dos últimos ocupantes, após 70s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 2,10 m de largura.	393
Figura 8.97 - Número de pessoas que percorre a distância de 5m no corredor de 2,10m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.	394
Figura 8.98 - Número de pessoas que percorre a distância de 10m no corredor de 2,10m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.	394
Figura 8.99 - Número de pessoas que percorre a distância de 20m no corredor de 2,10m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.	395
Figura 8.100 - Número de pessoas que percorre a distância de 30m no corredor de 2,10m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.	395
Figura 8.101 - Número de pessoas que percorre a distância de 40m no corredor de 2,10m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.	396
Figura 8.102 - Número de pessoas que percorre a distância de 50m no corredor de 2,10m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.	396
Figura 8.103 - Número de pessoas que percorre uma dada distância no corredor de 2,10 m de largura, ao longo do tempo – média de 30 simulações.	397
Figura 8.104 - Número de pessoas no corredor de 2,40m de largura, ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.	398
Figura 8.105 - Número de pessoas no corredor de 2,40m de largura, ao longo do tempo - média de 30 simulações.	399
Figura 8.106 - Posição dos ocupantes, após 10s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 2,40 m de largura.	400

Figura 8.107 - Posição dos ocupantes, após 42s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 2,40 m de largura.....	400
Figura 8.108 - Detalhe da posição dos ocupantes, após 42s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 2,40 m de largura.....	401
Figura 8.109 - Posição dos ocupantes, após 75s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 2,40 m de largura.....	401
Figura 8.110 - Número de pessoas que percorre a distância de 5m no corredor de 2,40m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.	402
Figura 8.111 - Número de pessoas que percorre a distância de 10m no corredor de 2,40m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.	402
Figura 8.112 - Número de pessoas que percorre a distância de 20m no corredor de 2,40m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.	403
Figura 8.113 - Número de pessoas que percorre a distância de 30m no corredor de 2,40m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.	403
Figura 8.114 - Número de pessoas que percorre a distância de 40m no corredor de 2,40m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.	404
Figura 8.115 - Número de pessoas que percorre a distância de 50m no corredor de 2,40m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.	404
Figura 8.116 - Número de pessoas que percorre uma dada distância no corredor de 2,40m de largura, ao longo do tempo – média de 30 simulações.....	405
Figura 8.117 – Tempo para 80 pessoas percorrerem uma dada largura de corredor (média de 30 simulações para cada largura considerada).....	407
Figura 8.118 – Tempo para percorrer uma dada distância em função da largura do corredor.....	408
Figura 8.119 – Vista da torre de escada e detalhe das portas de acesso (em azul) e das seções de contagem de passagem de pessoas no interior da escada (em verde).	409
Figura 8.120 – Ilustração da identificação dos sujeitos por cores em função do pavimento de origem.	410
Figura 8.121 - Número de pessoas na escada de 1,20m de largura, ao longo do tempo - média de 10 simulações.	412
Figura 8.122 - Tempo para toda a população dos pavimentos adentrarem a escada de 1,20m de largura – média de 10 simulações	412
Figura 8.123 - Posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 1,20m de largura	413

Figura 8.124 - Posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 1,20m de largura	413
Figura 8.125 - Posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 1,20m de largura	414
Figura 8.126 - Posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 1,20m de largura	414
Figura 8.127 - Vista em detalhe da posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 1,20m de largura	415
Figura 8.128 - Número de pessoas na escada de 1,20m de largura, entre os pavimentos, ao longo do tempo – média de 10 simulações	415
Figura 8.129 - Tempo para passagem dos ocupantes entre patamares da escada nos pavimentos para escada de 1,20m de largura.....	416
Figura 8.130 - Número de pessoas na escada de 1,50m de largura, ao longo do tempo - média de 10 simulações.....	418
Figura 8.131 - Tempo para toda a população dos pavimentos adentrarem a escada de 1,50m de largura – média de 10 simulações	418
Figura 8.132 - Posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 1,50m de largura	419
Figura 8.133 - Posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 1,50m de largura	419
Figura 8.134 - Posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 1,50m de largura	420
Figura 8.135 - Posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 1,50m de largura	420
Figura 8.136 - Vista em detalhe da posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 1,50m de largura	421
Figura 8.137 - Vista em detalhe da posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 1,50m de largura	421
Figura 8.138 - Número de pessoas na escada de 1,50m de largura, entre os pavimentos, ao longo do tempo – média de 10 simulações.	422
Figura 8.139 - Tempo para passagem dos ocupantes entre patamares da escada nos pavimentos para escada de 1,50m de largura.	423

Figura 8.140 - Número de pessoas na escada de 1,80m de largura, ao longo do tempo - média de 10 simulações.....	425
Figura 8.141 - Tempo para toda a população dos pavimentos adentrarem a escada de 1,80m de largura – média de 10 simulações	425
Figura 8.142 - Posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 1,80m de largura	426
Figura 8.143 - Posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 1,80m de largura	426
Figura 8.144 - Posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 1,80m de largura	427
Figura 8.145 - Posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 1,80m de largura	427
Figura 8.146 – Detalhe da posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 1,80m de largura	428
Figura 8.147 – Detalhe da posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 1,80m de largura	428
Figura 8.148 – Detalhe da posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 1,80m de largura	429
Figura 8.149 - Número de pessoas na escada de 1,80m de largura, entre os pavimentos, ao longo do tempo – média de 10 simulações	429
Figura 8.150 - Tempo para passagem dos ocupantes entre patamares da escada nos pavimentos para escada de 1,80m de largura.....	430
Figura 8.151 - Número de pessoas na escada de 2,10m de largura, ao longo do tempo - média de 10 simulações.....	431
Figura 8.152 - Tempo para toda a população dos pavimentos adentrarem a escada de 2,10m de largura – média de 10 simulações	432
Figura 8.153 – Posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 2,10m de largura	432
Figura 8.154 – Posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 2,10m de largura	433
Figura 8.155 –Posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 2,10m de largura	433
Figura 8.156 – Posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 2,10m de largura	434
Figura 8.157 – Detalhe da posição dos ocupantes, em dois instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 2,10m de largura	434

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
ROSARIA ONO

Figura 8.158 - Número de pessoas na escada de 2,10m de largura, entre os pavimentos, ao longo do tempo – média de 10 simulações	435
Figura 8.159 - Tempo para passagem dos ocupantes entre patamares da escada nos pavimentos para escada de 2,10m de largura.	436
Figura 8.160 - Tempos máximos de abandono dos pavimentos para diferentes larguras de escada.....	437
Figura 8.161 – Número de pessoas no interior da escada ao longo do tempo para diferentes larguras de escada.	437
Figura 8.162 – Fluxo específico em função da largura dos componentes de rotas de fuga.	438

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Os incêndios com maior número de vítimas fatais, em edifícios altos.....	10
Tabela 1.2 – Principais incêndios em edifícios altos na cidade de São Paulo	13
Tabela 1.3– Os edifícios mais altos do Brasil	16
Tabela 1.4 – Projetos de edifícios altos propostos, ainda não concretizados.....	17
Tabela 4.1 – Largura da borda de elementos nas rotas de fuga	76
Tabela 4.2 - Dimensões médias de uma pessoa.....	78
Tabela 4.3 – Fatores que afetam a largura da escada no caminhamento lado a lado, por pessoa.....	78
Tabela 4.4 – Velocidade de movimento de pessoas em diferentes situações.....	79
Tabela 4.5 – Velocidades e fluxos médios adotados no Japão.....	81
Tabela 4.6 – Velocidade e fluxo específico máximo.....	87
Tabela 4.7 – Velocidades máximas em escadas.....	92
Tabela 4.8 – Velocidade em superfície horizontal.....	100
Tabela 4.9 - Velocidade ascendente e descendente em rampas.....	101
Tabela 4.10 – Velocidade ascendente e descendente em escadas.....	102
Tabela 4.11 – Valores do fator k e do fator de conversão em função das dimensões dos degraus.....	120
Tabela 4.12 – Resumo dos levantamentos sobre modelos computacionais	131
Tabela 5.1 – Dados para o dimensionamento de saídas (Exemplo da NBR 9077)	138
Tabela 5.2 – Distâncias máximas a percorrer até uma saída (NBR 9077).	139
Tabela 5.3 – Definição das exigências para classificação dos edifícios em X, Y ou Z (NBR 9077).....	140
Tabela 5.4 – Distâncias máximas a serem percorridas (IT 11).....	156
Tabela 5.5 – Classificação das edificações quanto às suas características construtivas (IT 11).....	157
Tabela 5.6 – Exemplos de valores para cálculo de lotação (m^2 /pessoa) e largura de saídas (valor de K para corredores, rampas e escadas) - COE.	168
Tabela 5.7 – Número mínimo e tipos de escadas do COE.....	170

Tabela 5.8 – Distâncias máximas a percorrer do COE.	171
Tabela 5.9 – Características dos revestimentos de paredes e pisos de espaços de circulação protegidos do COE.....	172
Tabela 5.10 – Fatores de capacidade (NFPA 101).	181
Tabela 5.11 – Exemplos de valores de distância a percorrer (NFPA 101).	185
Tabela 5.12 – Critérios dimensionais para rampas (NFPA 101).	190
Tabela 5.13 – Comparação entre valores de capacidade de passagem em função do tipo de via de escoamento e tipo de uso.....	210
Tabela 5.14 – Valores incrementais para cálculo de largura de escadas de emergência.	215
Tabela 7.1 – Exemplos de área de pavimento significativas em edifícios de escritórios de múltiplos pavimentos.	282
Tabela 7.2 – Valores de densidade de ocupação e capacidade de unidade de passagem.	284
Tabela 7.3 – Largura de saídas horizontais segundo a NBR 9077.	286
Tabela 7.4 – Largura de saídas verticais segundo a NBR 9077.	288
Tabela 7.5 – Classificação das edificações de acordo com sua altura.	289
Tabela 7.6 – Distâncias a percorrer e número de saídas (NBR 9077).	289
Tabela 7.7 – Número e tipo de saídas verticais na NBR 9077.	290
Tabela 7.8 - Largura de saídas horizontais conforme a IT 11.	291
Tabela 7.9 – Largura de saídas verticais conforme a IT 11.	292
Tabela 7.10 – Distâncias a percorrer e número mínimo de saídas conforme a IT 11.	292
Tabela 7.11 – Número mínimo e tipo de saídas verticais na IT 11.	293
Tabela 7.12 – Valores de densidade de ocupação e K.....	295
Tabela 7.13 – Altura “Ho” e sua relação com “Y”, segundo COE.	296
Tabela 7.14 – Relação entre faixas de lotação de origem e largura total de corredores (K=100).....	298
Tabela 7.15 - Relação entre "Y", lotação de origem (Lo) e lotação corrigida (Lc) para K=100.....	300
Tabela 7.16 – Relação entre faixas de lotação de origem e largura total de corredores (K=250).....	302
Tabela 7.17 - Relação entre "Y", lotação de origem (Lo) e lotação corrigida (Lc) para K=250.	302

Tabela 7.18 – Número mínimo e tipo de escadas em função da altura e lotação da edificação.....	303
Tabela 7.19 – Relação entre faixas de lotação de origem e largura total de escadas protegida (K=160).....	305
Tabela 7.20 - Relação entre "Y", lotação de origem (Lo) e lotação corrigida (Lc) para K=160.....	306
Tabela 7.21 – Distância máxima horizontal a percorrer.....	307
Tabela 7.22 – Dados para cálculo da largura de saídas para edifícios de escritórios (NFPA 101).....	309
Tabela 7.23 – Relação entre faixas de lotação e largura total de corredores (NFPA 101).	310
Tabela 7.24 - Relação entre faixas de lotação e largura total de escadas (NFPA 101)...	312
Tabela 7.25 – Distâncias a percorrer para edifícios novos de escritórios (NFPA 101). ...	313
Tabela 7.26 – Saídas para edifício com Ho=30,0m.	316
Tabela 7.27 - Saídas para edifício com Ho= 60,0m.....	317
Tabela 7.28 - Saídas para edifício com Ho=105,0m.....	318
Tabela 8.1 – Faixa de atributos para gerar o perfil dos indivíduos de forma randômica	324
Tabela 8.2 – Taxa de caminamento em escadas derivadas de Fruin (1987)	324
Tabela 8.3 – Principais características do espaço simulado.	328
Tabela 8.4 – Tempos para abandono de um compartimento por uma porta de 1,0m de largura.....	329
Tabela 8.5 – Tempos para abandono dos ambientes nos pavimentos para escada de 0,76m de largura.....	331
Tabela 8.6 – Tempos médios para abandono dos ambientes nos pavimentos para escada de 1,52m de largura.....	335
Tabela 8.7 – Tempos para abandono dos ambientes nos pavimentos para escada de 2,28m de largura.....	337
Tabela 8.8 – Dimensões do corpo e velocidades de caminamento livre do FDS+Evac.	341
Tabela 8.9 - Largura (dimensão mínima de vão de luz) de portas em rotas de fuga.	346
Tabela 8.10 - Valores médios das simulações em função da largura da porta	360
Tabela 8.11 – Tempos e fluxos médios para percorrer as várias distância num corredor de 1,20m de largura.....	373
Tabela 8.12 - Tempos e fluxos médios para percorrer as várias distâncias num corredor de 1,50m de largura.....	381

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
ROSARIA ONO

Tabela 8.13 - Tempos e fluxos médios para percorrer as várias distâncias num corredor de 1,80m de largura.....	390
Tabela 8.14 - Tempos e fluxos médios para percorrer as várias distâncias num corredor de 2,10m de largura.....	398
Tabela 8.15- Tempos e fluxos médios para percorrer as várias distâncias num corredor de 2,40m de largura.....	406
Tabela 8.16 – Resumo dos resultados (tempo) para cada largura de corredor considerada no estudo.....	407
Tabela 8.17 – Resumo dos tempos totais de abandono para cada largura de escada considerada no estudo.	436
Tabela 9.1 – Comparação entre valores de capacidade de passagem em função do tipo de via de escoamento e tipo de uso.....	443

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Medidas de proteção ativa e passiva.	24
Quadro 4.1 - Métodos de cálculo da largura de saídas – Síntese.....	72
Quadro 4.2 – Expressões matemáticas de diferentes autores para velocidade de caminhamento de pessoas na horizontal.	83
Quadro 4.3 – Expressões matemáticas de diferentes autores para velocidade de caminhamento de pessoas nas escadas, em movimento descendente.	90
Quadro 4.4 – Principais fatores modificadores do cenário pré-movimento.....	111
Quadro 4.5 – Tempos de pré-movimento em função do nível de segurança contra incêndio de edifícios de escritórios.....	113
Quadro 4.6 – Fatores a serem considerados na escolha de modelos de abandono.....	129
Quadro 4.7 – Roteiro de perguntas para seleção do modelo de abandono mais apropriado para a tarefa a ser desenvolvida.	130
Quadro 4.8 – Quadro comparativo dos modelos de abandono levantados	132
Quadro 6.1 - Comparação dos títulos dos subsistemas dos documentos analisados.....	220
Quadro 6.2 – Descrição resumida dos conteúdos das etapas do “Fire Engineering Brief (FEB)”.....	224
Quadro 6.3 – Descrição resumida dos conteúdos das etapas do “Fire Engineering Brief (FEB)”.....	225
Quadro 6.4 – Itens do processo de avaliação.	227
Quadro 6.5 – Quadro-síntese dos subsistemas e os fenômenos envolvidos.	229
Quadro 6.6 – Processo de Revisão de Projeto (Qualitative Design Review – QDR).....	232
Quadro 6.7 – Processo de Análise Quantitativa de Projeto (Quantitative Design Analysis).	233
Quadro 6.8 – Processo de Avaliação “versus” Critérios.	233
Quadro 6.9 – Processo de Elaboração do Relatório.	234
Quadro 6.10 – Etapas do processo de projeto da norma ISO 23932:2009.	236
Quadro 6.11 – Etapas do processo de projeto - NFPA 101.	242

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
ROSARIA ONO

Quadro 6.12 - Cenários comportamentais de projeto e tipos de ocupação.	261
Quadro 6.13 – Dados de entrada e saída do subsistema “Saídas de emergência” em relação à localização dos ocupantes.	269
Quadro 6.14 - Dados de entrada e saída do subsistema “Saídas de emergência” em relação à condição dos ocupantes.	270
Quadro 6.15 – Cenários (de incêndio) de projeto	274
Quadro 6.16 - Características básicas de resposta dos ocupantes.....	275
Quadro 6.17 - Características adicionais dos ocupantes.	276

SUMÁRIO

<u>1</u>	<u>INTRODUÇÃO</u>	<u>1</u>
1.1	A PROBLEMÁTICA DOS EDIFÍCIOS ALTOS	6
1.2	INCÊNDIOS EM EDIFÍCIOS ALTOS NO BRASIL E SUAS CONSEQUÊNCIAS	11
1.3	O IMPACTO DAS DECISÕES DE PROJETO ARQUITETÔNICO SOBRE A SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO DE EDIFÍCIOS ALTOS	14
1.4	HIPÓTESES	17
1.5	OBJETIVOS GERAIS	18
1.6	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
1.7	MÉTODO DE TRABALHO	18
1.8	ESTRUTURA DA TESE	19
<u>2</u>	<u>ASPECTOS A SEREM CONSIDERADOS NO PROJETO ARQUITETÔNICO</u>	<u>21</u>
2.1	CONCEITOS BÁSICOS E PARÂMETROS DE PROJETO	21
2.1.1	MEDIDAS DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO	22
2.2	PARÂMETROS DE PROJETO PARA AS MEDIDAS DE PROTEÇÃO PASSIVA	25
2.2.1	DO PLANEJAMENTO URBANO	25
2.2.2	DA IMPLANTAÇÃO DO EDIFÍCIO NO INTERIOR DO LOTE	27
2.2.3	DO PROJETO PAISAGÍSTICO	29
2.2.4	DO PROJETO DA EDIFICAÇÃO	30
2.3	A INCORPORAÇÃO DA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO NO PROJETO DE EDIFICAÇÕES	42
<u>3</u>	<u>FUNDAMENTOS DO PROJETO DE SAÍDAS DE EMERGÊNCIA DE EDIFÍCIOS ALTOS</u>	<u>45</u>
3.1	PRINCÍPIOS BÁSICOS DO ABANDONO /CONCEITOS /PREMISSAS	45
3.1.1	LARGURA DAS SAÍDAS	46

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
ROSARIA ONO

3.1.2	NÚMERO MÍNIMO DE SAÍDAS	48
3.1.3	DISTRIBUIÇÃO / LOCALIZAÇÃO DAS SAÍDAS	48
3.1.4	TIPOS DE PROTEÇÃO DAS SAÍDAS	49
3.1.5	TEMPO PARA EVACUAÇÃO	51
3.2	O PROCESSO DE ABANDONO DO EDIFÍCIO ALTO AO LONGO DO TEMPO	54
3.2.1	ESTRATÉGIAS TRADICIONAIS DE ABANDONO	55
3.2.2	NOVAS ESTRATÉGIAS DE ABANDONO	59

4	<u>ORIGENS E TENDÊNCIAS DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE SAÍDAS PARA EDIFÍCIOS ALTOS</u>	67
----------	--	-----------

4.1	BREVE HISTÓRICO	67
4.2	AS ESTRATÉGIAS DE ABANDONO E SUA RELAÇÃO COM LARGURA MÍNIMA DAS SAÍDAS	71
4.3	LARGURA MÍNIMA DE SAÍDA	74
4.4	VELOCIDADES DE CAMINHAMENTO E TAXAS DE FLUXO	79
4.4.1	CAMINHAMENTO HORIZONTAL POR CORREDORES	82
4.4.2	CAMINHAMENTO DESCENDENTE POR RAMPAS	86
4.4.3	CIRCULAÇÃO VERTICAL POR ESCADAS	87
4.4.4	PONTOS DE TRANSIÇÃO	93
4.5	A VELOCIDADE DE PESSOAS COM DEFICIÊNCIA	99
4.6	TEMPO PARA PASSAGEM NUM CERTO PONTO DA ROTA	102
4.7	O FATOR HUMANO NO DIMENSIONAMENTO	103
4.7.1	INFLUÊNCIA DO NÍVEL DE ILUMINAMENTO NA VELOCIDADE DE CAMINHAMENTO	105
4.7.2	INFLUÊNCIA DA FUMAÇA (VISIBILIDADE E IRRITABILIDADE) NA VELOCIDADE DE CAMINHAMENTO	108
4.7.3	INFLUÊNCIA DO COMPORTAMENTO ANTERIOR NO INÍCIO DO MOVIMENTO DE ABANDONO	109
4.8	MÉTODOS MANUAIS DE DIMENSIONAMENTO	113
4.8.1	ESTUDOS E PROPOSTAS DO <i>NATIONAL RESEARCH COUNCIL</i> (CANADÁ)	114
4.8.2	PROPOSTA DE NELSON; MOWRER (2002)	119
4.8.3	MÉTODO JAPONÊS SEGUNDO TANAKA (2002)	124
4.9	MODELOS COMPUTACIONAIS	126
4.9.1	CATEGORIAS DE MODELOS	127
4.9.2	FATORES PARA SELEÇÃO DOS MODELOS	128

5 AS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA EM TEXTOS PRESCRITIVOS DE CARÁTER NORMATIVO OU LEGISLATIVO	135
5.1 ABNT - NBR 9077/1993: SAÍDAS DE EMERGÊNCIA EM EDIFÍCIOS	135
5.1.1 BREVE HISTÓRICO	135
5.1.2 REQUISITOS E CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO	136
5.2 INSTRUÇÃO TÉCNICA Nº 11/2004- SAÍDAS DE EMERGÊNCIA – CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO (IT 11)	153
5.2.1 REQUISITOS E CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO	153
5.3 CÓDIGO DE OBRAS E EDIFICAÇÕES DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO – LEI MUNICIPAL Nº 11.228/1992 (ANEXO I - CAPÍTULO 12) E DECRETO MUNICIPAL Nº 32.329/1992 (ANEXO 12)	164
5.3.1 BREVE HISTÓRICO	164
5.3.2 REQUISITOS E CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO	166
5.4 LIFESAFETY CODE - NFPA 101:2009	179
5.4.1 BREVE HISTÓRICO	179
5.4.2 REQUISITOS E CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO	180
5.4.3 ANÁLISE COMPARATIVA	209
6 SAÍDAS DE EMERGÊNCIA EM PROJETOS DE ENGENHARIA DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO	217
6.1 HISTÓRICA DA APLICAÇÃO DO CONCEITO DE DESEMPENHO NA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO	217
6.2 PROCESSO DE PROJETO DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO	221
6.2.1 INTERNATIONAL FIRE ENGINEERING GUIDELINES (IFEG)	222
6.2.2 BS 7974:2001	230
6.2.3 ISO 23932:2009	234
6.2.4 NFPA 101- LIFE SAFETY CODE / CHAPTER 5 – PERFORMANCE-BASED OPTION	240
6.3 O SUBSISTEMA DE SAÍDAS DE EMERGÊNCIA	244
6.3.1 INTERNATIONAL FIRE ENGINEERING GUIDELINES- EDITION 2005 – OCCUPANT EVACUATION AND CONTROL (SUB-SYSTEM E);	245

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
ROSARIA ONO

6.3.2	BS PD 7974-6:2004 – THE APPLICATION OF FIRE SAFETY ENGINEERING PRINCIPLES TO FIRE SAFETY DESIGN OF BUILDINGS – PART 6: HUMAN FACTORS: LIFE SAFETY STRATEGIES – OCCUPANT EVACUATION, BEHAVIOUR AND CONDITION (SUB-SYSTEM 6)	256
6.3.3	ISO/TR 13387-8: 1999 – FIRE SAFETY ENGINEERING – PART 8: LIFE SAFETY – OCCUPANT BEHAVIOUR, LOCATION AND CONDITION (SUB-SYSTEM 5 OF THE TOTAL FIRE SAFETY DESIGN SYSTEM)	265
6.3.4	NFPA 101-CHAPTER 5 (2009 EDITION). LIFE SAFETY CODE: PERFORMANCE-BASED OPTION – MEANS OF EGRESS	272
6.4	ANÁLISE COMPARATIVA DOS DOCUMENTOS	277

7 IMPACTO DOS MÉTODOS PRESCRITIVOS DE DIMENSIONAMENTO EM PROJETOS

ARQUITETÔNICOS **281**

7.1	MÉTODO DE ANÁLISE	281
7.1.1	POPULAÇÃO E ÁREA ÚTIL	281
7.1.2	ALTURA DA EDIFICAÇÃO	282
7.2	DIMENSIONAMENTO CONFORME NBR 9077	283
7.2.1	LARGURA DAS SAÍDAS	283
7.2.2	DISTÂNCIAS A PERCORRER E NÚMERO MÍNIMO DE SAÍDAS	288
7.2.3	CONCLUSÕES DO PROCESSO DE DIMENSIONAMENTO	290
7.3	DIMENSIONAMENTO CONFORME IT 11/CBPMSP	291
7.3.1	LARGURA DAS SAÍDAS	291
7.3.2	DISTÂNCIAS A PERCORRER E NÚMERO MÍNIMO DE SAÍDAS	292
7.3.3	CONCLUSÕES DO PROCESSO DE DIMENSIONAMENTO	293
7.4	DIMENSIONAMENTO CONFORME COE	294
7.4.1	LARGURA DAS SAÍDAS	294
7.4.2	DISTÂNCIAS A PERCORRER E NÚMERO MÍNIMO DE SAÍDAS	306
7.4.3	CONCLUSÕES DO PROCESSO DE DIMENSIONAMENTO	307
7.5	DIMENSIONAMENTO CONFORME NFPA 101	309
7.5.1	LARGURA DAS SAÍDAS	309
7.5.2	DISTÂNCIAS A PERCORRER E NÚMERO MÍNIMO DE SAÍDAS	312
7.5.3	CONCLUSÕES DO PROCESSO DE DIMENSIONAMENTO	313
7.6	ANÁLISE COMPARATIVA	316

8	<u>AVALIAÇÃO DA ADEQUAÇÃO DE PARÂMETROS DE PROJETO POR MEIO DA APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS</u>	<u>321</u>
8.1	SIMULAÇÕES COM O BUILDINGEXODUS	322
8.1.1	DESCRIÇÃO DO PROGRAMA	322
8.1.2	SIMULAÇÕES REALIZADAS	327
8.1.3	ANÁLISE DOS RESULTADOS	329
8.1.4	CONCLUSÕES PRÉVIAS	338
8.2	SIMULAÇÕES COM O MODELO FDS+EVAC	339
8.2.1	DESCRIÇÃO DO FDS+EVAC	339
8.2.2	DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO	340
8.2.3	PROCEDIMENTOS PARA AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS	344
8.2.4	RESULTADOS	348
8.2.5	ANÁLISE GERAL DOS FLUXOS DE SAÍDA	438
9	<u>CONCLUSÕES</u>	<u>439</u>
	<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>447</u>

1 INTRODUÇÃO

O fogo está diretamente relacionado à evolução da humanidade. O domínio do fogo permitiu ao homem fixar-se à terra, construir e aquecer sua moradia, praticar a cocção de seu alimento e processar o metal, dentre outros benefícios.

O incêndio é definido como um “fogo fora do controle” e é um fenômeno que acompanhou este processo evolutivo, lembrando ao homem, de tempos em tempos, de sua rebeldia e de seu enorme poder destrutivo.

Incêndios urbanos, também denominados “conflagrações (*conflagration*, em inglês)”, assolaram tanto vilas, bairros e cidades inteiras, a exemplo de Roma (64 D.C.) e Londres, em 1666, dentre cidades européias, bem como cidades emergentes no continente americano, das quais é possível destacar Chicago, em 1871, e Boston, em 1872. Independentemente de suas causas, esses incêndios ocorreram em cidades que apresentavam muitas características em comum, como crescimento desordenado, ocupação densa, construções combustíveis e falta de infraestrutura urbana para o combate ao fogo (COTE; BUGBEE, 1993).

Destes episódios surtem lições como a necessidade de um melhor ordenamento na ocupação das cidades, considerando aspectos como o distanciamento entre edificações (afastamentos) e larguras de vias para evitar a propagação do fogo entre edifícios, o controle dos materiais e componentes utilizados na construção dos edifícios, a provisão de infraestrutura urbana de serviços como o abastecimento de água e a instalação de postos de corpo de bombeiros.

No início do Século XX, segundo o histórico de incêndios urbanos registrados em The University of Chicago (1949, p.374-375), os números são menos significativos que no século anterior, refletindo os esforços para o controle ou a contenção das chamas na escala urbana. Contribuíram para isso, também, a adoção de uma medida de proteção conhecida como “compartimentação” de ambientes e, particularmente nos EUA, a difusão do uso dos chuveiros automáticos, mais conhecidos como “sprinklers”.

Neste mesmo período, porém, detectou-se a ocorrência de outro fenômeno, igualmente catastrófico, gerado pelos incêndios em edificações – o grande número de

vítimas fatais em edifícios de certa complexidade como hospitais, internatos, fábricas e teatros nos grandes centros urbanos. Tal fenômeno era consequência da falta de rotas de fuga para abandono desses locais em caso de emergência.

Em meados do Século XX, assistimos a outro fenômeno que causou um grande número de mortes em locais de grande concentração de público (boates, circos, teatros, etc.), que foi a incorporação de novos materiais de acabamento e decoração aos edifícios. Isso ocorreu sem o conhecimento de seu comportamento ao fogo (desenvolvimento rápido de chamas, calor, fumaça e gases tóxicos), associada à falta de saídas de emergência adequadas.

A sociedade reage a cada ocorrência desta natureza, reivindicando do poder público o aprimoramento das condições de segurança do ambiente construído. Não foi diferente no Brasil, especificamente em São Paulo, quando ocorreram os incêndios devastadores nos edifícios Andraus, em 1972, e Joelma, em 1974. O primeiro Código de Edificações com amplas exigências de segurança contra incêndio no Brasil foi promulgado em 1975 no município de São Paulo.

Nesta mesma época, o Professor Teodoro Rosso concluía sua tese intitulada “Incêndios e Arquitetura” na FAUUSP, que tinha como proposta “colocar e desenvolver os fundamentos para um programa de segurança contra incêndio a ser ministrado numa Faculdade de Arquitetura” (ROSSO, 1975, p.1). O repentino falecimento do Prof. Rosso impediu a continuação de seu trabalho, mas deixou um legado que serviu como referência para o desenvolvimento da área no Brasil, pois até pouco tempo era uma das poucas publicações sobre o assunto na língua portuguesa.

Os primeiros trabalhos acadêmicos na área de segurança contra incêndio, após Rosso (1975), surgiram somente na década de 1990 na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo em dissertações de mestrado e teses de doutorado, orientados pelo Prof. Dr. Ualfrido Del Carlo (por exemplo, Berto (1991); Seito (1995) e Ono (1997)). Seguiram a esses, outros que têm enriquecido a produção técnica e acadêmica da área e contribuído para a formação de profissionais qualificados, nas últimas duas décadas.

No entanto, não bastam mestres e doutores especialistas no assunto. O mercado necessita de profissionais arquitetos e urbanistas que tenham conhecimento em segurança contra incêndio suficiente para que incorporem mais este requisito de desempenho em seus projetos, garantindo as condições de habitabilidade do ambiente construído (segurança, higiene, conforto e economia), melhor definido na norma *ISO 6241 (1984) – Performance Standards in Buildings* (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1984), em seus 14 requisitos.

O arquiteto exerce um papel importante e fundamental na definição das medidas de segurança contra incêndio a serem adotadas no projeto de ambiente construído. As medidas de proteção contra incêndio denominadas “passivas” são ferramentas que o arquiteto deve dominar para o uso adequado na garantia da segurança da edificação e de seus ocupantes. Algumas destas ferramentas são estabelecidas por normas, leis e regulamentos, porém muitas delas são resultado da decisão única e exclusiva do arquiteto.

No âmbito do planejamento urbano ou do desenho urbano da vizinhança próxima, na definição de largura de vias, de traçados de loteamentos e de provimento de infraestrutura urbana estão inseridas medidas de proteção passiva que podem permitir, ou não, o acesso rápido de veículos de bombeiros ao local do sinistro, o abastecimento de água para o combate, a propagação das chamas a edifícios vizinhos, etc.

Ao estabelecer critérios para implantação da edificação no lote, o arquiteto pode facilitar, ou não, o acesso e a aproximação do veículo às fachadas do edifício, diminuir o conflito entre fluxo de saída dos ocupantes e chegada das equipes de socorro externas, permitir a propagação do incêndio para e de edifícios adjacentes, etc.

O projeto paisagístico, assim como a implantação da edificação no lote, pode vir a prejudicar uma eventual aproximação das viaturas e equipes de socorro, caso não prevejam meios de acesso e ocupem grandes recuos frontais ou laterais com obstáculos físicos como espelhos de água, grandes jardineiras, esculturas, etc.

Na adoção do sistema estrutural e construtivo, o arquiteto deve considerar a proteção ao fogo das estruturas assim como a resistência ao fogo dos elementos construtivos das vedações. Os requisitos de desempenho desses elementos e sistemas são determinados por normas técnicas e regulamentações, para a contenção do incêndio nos compartimentos e para evitar o colapso estrutural dos edifícios. Nas fachadas, as dimensões e a geometria das aberturas são fatores determinantes na definição das características de propagação das chamas entre pavimentos e entre edifícios adjacentes.

Ao determinar a distribuição dos ambientes internos, o arquiteto estará estabelecendo as circulações horizontais e verticais, que são primordiais na composição das saídas de emergência. Algumas exigências básicas para dimensionamento, proteção e localização das saídas de emergência são dadas em normas e regulamentações, porém nem sempre o seu simples cumprimento resulta em um projeto seguro.

No projeto de interiores, ou seja, na definição de especificações de materiais de revestimento e acabamento e no mobiliário, o arquiteto poderá contribuir para que um eventual foco de incêndio ou se propague, ou seja controlado e se extinga. Isto porque, os materiais de acabamento e revestimento, assim como os mobiliários são, geralmente, os primeiros a serem ignizados por uma fonte de calor. As características desses materiais, quando atingidos pelos efeitos de um início de incêndio, podem ser decisivas na evolução do princípio de incêndio. São importantes características como a facilidade de ignição, a velocidade da propagação superficial das chamas, a quantidade e a qualidade dos produtos da combustão (calor, fumaça e gases), dentre outros.

O projeto de comunicação visual também compõe as medidas passivas, uma vez que para garantir a segurança durante o uso normal e em caso de emergência, é necessário prover os ambientes de informações que permitam o correto uso das medidas de prevenção e proteção contra incêndio implementadas.

As medidas passivas podem ser insuficientes na contenção e no controle da evolução do fenômeno do incêndio e na área de segurança é sempre recomendada a inserção de redundâncias, para garantir a efetividade de uma medida de proteção na eventual falha de outra.

As medidas de proteção ativa complementam, desta forma, as medidas passivas, e são compostas, essencialmente por instalações prediais (hidráulicas, elétricas ou eletromecânicas) que só são acionadas em caso de emergência, estimuladas por alguma anomalia. Tal situação, ao contrário das medidas passivas, diminui sensivelmente a sua confiabilidade, caso não exista um sistema permanente de monitoramento e manutenção dos equipamentos envolvidos. Daí a importância das medidas passivas implementadas adequadamente.

Considerada uma questão de segurança pública, a segurança contra incêndio do ambiente construído é de responsabilidade do poder público, no que se refere à definição de requisitos mínimos a serem cumpridos para garantir a incolumidade física das pessoas e a preservação do meio ambiente. A salvaguarda dos bens e a possibilidade da recuperação para uso da edificação são decorrentes, porém hoje não são mais consideradas de responsabilidade do poder público.

Esses requisitos mínimos são estabelecidos por meio de regulamentações e normas, como a Regulamentação Estadual de Segurança contra Incêndio e Áreas de Risco (SÃO PAULO, 2005) e o Código de Obras e Edificações do Município de São Paulo (BOTELHO; FREITAS, 2008). Além dessas, ainda existem as normas técnicas brasileiras da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), importante referência para o profissional, pois fornece respaldo técnico para suas decisões de projeto.

Como já dito anteriormente, o arquiteto exerce um papel importante neste cenário, onde existem normas e regulamentações a serem cumpridas. Nem sempre estas últimas oferecem possibilidade de soluções adequadas, do ponto de vista do projetista.

É necessária a qualificação do profissional arquiteto, assim como o fortalecimento de sua representatividade junto aos órgãos de poder público para permitir a evolução e o desenvolvimento da área de segurança contra incêndio no Brasil.

Muitas soluções de projeto adotadas não são as mais adequadas e de menor custo, pois os arquitetos sem argumentação técnica, não conseguem romper com as soluções tradicionais ou conservadoras impostas. Por outro lado, a falta de demanda

deste mercado torna inviável a introdução de inovações tecnológicas que poderiam flexibilizar as soluções hoje adotadas.

Assim, a difusão do conhecimento da segurança contra incêndio nos cursos de graduação de arquitetura torna-se um fator importante para o avanço na área e uma elevação da qualidade do projeto.

1.1 A Problemática dos Edifícios Altos

Até o final do século XIX, a maior parte dos edifícios era de uma escala tal que permitia que as pessoas atingissem rapidamente uma escada e, por fim, um local seguro fora da edificação em poucos minutos.

Os primeiros edifícios altos se viabilizaram e foram construídos nos Estados Unidos graças às inovações tecnológicas aplicadas à construção civil que surgiam ao longo desse século como os elevadores e a estrutura em aço. A invenção do freio de segurança para elevadores, em 1854, tornou seguro o uso deste equipamento para o transporte vertical de passageiros, possibilitando que os edifícios crescessem em altura (BUKOWSKI, 2009). A estrutura metálica também proporcionou leveza à estrutura e maior área útil aos pavimentos, apesar desta ter que ser protegida contra a ação térmica do fogo para garantir a resistência ao fogo da estrutura e a segurança dos seus ocupantes.

Após um grande incêndio que arrasou parte significativa da cidade de Boston, em 1872, o *National Board of Fire Underwriter*, que reunia companhias seguradoras, resolve desenvolver regras construtivas para garantir a segurança contra incêndio das edificações e reduzir as conseqüentes perdas patrimoniais. Só este grande incêndio provocou a falência de mais de 70 companhias de seguro nos EUA. Estas regras foram se consolidando num código de edificações e foram publicadas pela primeira vez em 1905 com o título de “National Building Code (NBC)”. A adesão dos municípios a este código-modelo foi motivada principalmente pelas vantagens que as seguradoras ofereciam às cidades que adotavam as regras construtivas definidas neste documento, permitindo que investidores tivessem menor custo com o prêmio do seguro dos edifícios segurados. Na primeira edição do “NBC”, a largura mínima exigida para escadas utilizadas como

rotas de fuga era de 510 mm (20 polegadas), refletindo a pouca importância dada para a questão ou mesmo o desconhecimento sobre os riscos aos usuários em caso de incêndio. (BUKOWSKI, 2009)

A proteção contra incêndio com fins de redução de perdas também estimulou o desenvolvimento de equipamentos e sistemas de combate ao fogo, como os extintores de incêndio, os chuveiros automáticos (mais conhecidos como “sprinklers”, patenteado nos EUA em 1872, por Philip W. Pratt), as portas e janelas corta-fogo, dentre outros. Tudo com o intuito de conter o crescimento do incêndio (COTE; BUGBEE, 1993).

O primeiro código dos EUA preocupado com a segurança contra incêndio da vida humana em edificações é publicado somente em 1927 pela National Fire Protection Association (NFPA) e foi denominado “Building Exits Code (NFPA 101-T)”, mais tarde renomeado para “Life Safety Code” – título que permanece até os dias de hoje. A National Fire Protection Association (NFPA) é uma organização norte-americana sem fins lucrativos fundada em 1896. A missão desta instituição é reduzir as consequências de incêndios e outros riscos por meio da provisão e defesa de códigos e normas consensuais, pesquisa, treinamento e educação. Com um número de associados que ultrapassa, hoje, as 75 mil pessoas de quase uma centena de países, a NFPA é uma instituição que trabalha na prevenção contra incêndio tendo o status de uma fonte de referência mundial para a segurança da sociedade. Atualmente, possui aproximadamente 300 documentos normativos (códigos e normas) e dentre os mais utilizados se encontra o *NFPA 101 – Life Safety Code*¹.

O Life Safety Code (COTÉ; HARRINGTON, 2009) da NFPA, define edifício alto como um edifício com mais de 23 metros de altura, medido do piso mais baixo de acesso do veículo do corpo de bombeiros até o piso mais elevado com ocupação. Tal altura corresponde, aproximadamente, a um edifício de 7 pavimentos.

Segundo Bukowsky (2009), no início do Século XX, o edifício mais alto do mundo tinha somente 119m de altura (edifício Park Row, de 1899, em Nova Iorque). Em 1913, com a construção do edifício Woolworth, de 241m, a altura máxima já dobrou; em 1930

¹ www.nfpa.org acessado em 08.12.2009

o edifício Chrysler atinge os 319m; e o Empire State, no ano seguinte, chega a 381 metros de altura (todos em Nova Iorque). As torres gêmeas do World Trade Center de Nova Iorque atingem 417 metros em 1971; a Torre Sears (Chicago), 442m em 1974; e o Petronas Towers (Kuala Lumpur, Malásia), 448m em 1998. No Século XXI, os edifícios mais elevados estão concentrados na Ásia e no Oriente Médio², sendo que o Taipei 101, na República da China (Taiwan), era considerado o mais alto do mundo com 510m desde 2004, e foi substituído nesta classificação pelo edifício Burj Khalifa (em Dubai/ Emirados Árabes Unidos), com 828m de altura, inaugurado no início do ano de 2010. Na Figura 1.1 a seguir, têm-se imagens dos edifícios: World Trade Center³ (Foto 1); Petronas Towers⁴ (Foto 2); Taipei 101⁵ (Foto 3); e o Burj Khalifa⁶ (Foto 4).

O Council on Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH)⁷ mantém, em sua página na internet, uma lista dos edifícios mais altos do mundo, inclusive daqueles em projeto, com previsão de construção ou em construção até 2020, onde configuram três edifícios com mais de 1000 metros de altura⁸, todos de múltiplo uso (residência/ hotel/ escritórios) no Oriente Médio (Nakheel Tower (Emirados Árabes Unidos - Dubai, para 2020); Kingdom Tower (Arábia Saudita, para 2020) e Burj Mubarak Al Kabir (Kwait para 2016)). Imagens virtuais desses edifícios são apresentadas na Figura 1.2.

² <http://www.ctbuh.org> (acessado em 09/12/2009).

³ <http://www.glassteelandstone.com/BuildingDetail/442.php> (acessado em 09/12/2009).

⁴ <http://top-10-list.org/wp-content/uploads/2009/04/petronas-towers.jpg> (acessado em 09/12/2009).

⁵ <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Taipei101.portrait.altonthompson.jpg> (acessado em 09/12/2009).

⁶ <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b8/BurjDubai113.jpg> (acessado em 09/12/2009).

⁷ <http://www.ctbuh.org> (acessado em 09/12/2009).

⁸ <http://www.sceneadvisor.com/todays-headlines/size-does-matter-the-tallest-skyscrapers-in-the-world-by-2020-11548.html> (acessado em 09/12/2009)

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS

ROSARIA ONO

Photograph © Wayne Lorentz

Foto 1: World Trade Center Twin Towers

Foto 2: Petronas Towers

Foto 3: Taipei 101

Foto 4: Burj Khalifa

Figura 1.1 – Exemplos de edifícios altos.

Nakheel Tower (Dubai, 2020)

Kingdom Tower (Arabia Saudita, 2020)

Burj Mubarak Al Kabir (Kwait, 2016)

Figura 1.2 – Edifícios em projeto com mais de 1000m de altura

A preocupação com a segurança ao fogo em edifícios altos tem forte fundamento, uma vez que são vários os casos de incêndio envolvendo vítimas fatais nesses edifícios, como se pode verificar na Tabela 1.1, com base nos registros históricos da NFPA - National Fire Protection Association (HALL Jr, 2009).

Tabela 1.1 – Os incêndios com maior número de vítimas fatais, em edifícios altos.

Nº	Data do Incêndio	Edifício	Vítimas fatais	Altura (número de andares)	Pavimento de origem
1	Setembro/2001 ^(*)	Complexo de Escritórios (Torres Gêmeas do WTC) (New York/ EUA)	2.791	110	94-98 (Torre 1) 78-84 (Torre 2)
2	Fevereiro/1974	Escritórios (São Paulo/Brasil)	179	25	12
3	Abril/1995 ^(*)	Escritórios (Oklahoma/EUA)	168	9	Externo
4	Dezembro/1971	Hotel (Coréia do Sul)	163	21	2
5	Março/1911	Confecção (New York/EUA)	146	10	8
6	Dezembro/1946	Hotel (Georgia/EUA)	119	15	3
7	Maio/1972	Loja de Departamentos (Japão)	118	7	3
8	Novembro/1973	Loja de Departamentos (Japão)	104	9	desconhecido
9	Dezembro/1986	Hotel (Puerto Rico)	96	20	1
10	Julho/1977	Hotel (Tailândia)	90	17	1
11	Novembro/1980	Hotel (Nevada/ EUA)	85	23	1
12	Junho/1946	Hotel (Illinois/EUA)	61	22	1
13	Novembro/1996	Escritórios (Hong Kong)	40	16	Subsolo
14	Janeiro/1984	Hotel (Coréia do Sul)	38	10	4
15	Fevereiro/1982	Hotel (Japão)	32	10	9
16	Dezembro/1970	Hotel (Arizona/EUA)	28	11	4
17	Fevereiro/1986	Escritórios (Rio de Janeiro/Brasil)	23	13	desconhecido
18	Outubro/1989	Fábrica (Texas/EUA)	23	20	desconhecido
19	Dezembro/1963	Hotel (Florida/EUA)	22	14	1
20	Junho/1977	Prisão (New Brunswick /Canada)	21	16	Sub-nível

^(*) Atentado terrorista

Fonte: Hall Jr.(2009, p. 40).

Vale destacar, também, outros casos de incêndio em edifícios altos que, apesar de não apresentarem vítimas fatais, causaram repercussão no mundo todo devido ao seu efeito devastador. O incêndio na Torre Leste do Parque Central (edifício de 56 andares), em Caracas, Venezuela, ocorrido em 17 de outubro de 2004, atingiu e destruiu 23 pavimentos, do 34º ao 52º andar (MONCADA, 2005). Outro incêndio de grandes proporções atingiu o edifício Windsor, de Madri, Espanha, em 13 de fevereiro de 2005, afetando todos os seus 34 andares, e resultou no seu colapso estrutural⁹. No Brasil, ressalta-se o incêndio ocorrido no ano de 1987, nas duas torres ocupadas da então sede da antiga Companhia Energética de São Paulo (CESP), na Avenida Paulista, que também resultou no colapso parcial de uma delas, durante o incêndio e, ainda, na propagação do incêndio da torre de origem para a torre vizinha (BERTO; TOMINA, 1988).

⁹ <http://www.miliarium.com/monografias/rascacielos/EdificioWindsor.htm> (acessado em 19/05/2009).

Os Estados Unidos registraram, no período de 2003 a 2006, uma média de 13.400 incêndios em edifícios altos por ano, resultando em uma média anual de 62 mortes, 490 feridos e 179 milhões de dólares em perdas diretas, segundo Hall Jr. (2009).

Na última década, a preocupação com a possibilidade de abandono de edifícios altos em caso de sinistros tem aumentado, principalmente após o atentado terrorista de 11 de setembro de 2001, nas Torres do World Trade Center de Nova Iorque, que trouxe à tona as discussões relativas aos critérios utilizados para o dimensionamento das saídas de emergência dos edifícios envolvidos, em particular, e de edifícios super-elevados em geral. Neste sentido, discussões sobre novos meios de abandono da edificação com o uso de diferentes tecnologias também têm sido freqüentes (TUBBS; MEACHAM, 2009). É importante lembrar que estes projetos de grande porte normalmente não se tornam viáveis com a adoção de métodos de dimensionamento de saídas de emergência tradicionais, onde se considera a evacuação total e simultânea da população do edifício.

Ressalta-se ainda, que a problemática da segurança contra incêndio está sempre presente nas discussões sobre o domínio da tecnologia para construção de edifícios de grande altura no mundo todo, pois garantir a segurança dos ocupantes e da própria estrutura em caso de incêndio é uma das premissas para aprovação desses projetos especiais por parte do poder público (CRAIGHEAD, 1996, p.16).

1.2 Incêndios em edifícios altos no Brasil e suas conseqüências

A área de segurança contra incêndio ganhou impulso no país, especificamente no estado de São Paulo, na primeira metade da década de 1970, quando ocorreram dois incêndios de grandes proporções e de repercussão internacional na cidade de São Paulo: do Edifício Andraus (em 1972, 31 andares e 16 mortes - Figura 1.3¹⁰) e do Edifício Joelma (em 1974, 25 andares e 179 mortes).

Estes incidentes sensibilizaram autoridades e acadêmicos, resultando na criação do Laboratório de Ensaio de Fogo no IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo em 1976, e numa extensiva compilação e sistematização de

¹⁰ <http://veja.abril.com.br/acervodigital/home.aspx> (edição 182 de 01.03.1972, p.15) acessado em 19.05.2010.

informações sobre segurança contra incêndio na FAUUSP, pelo Professor Teodoro Rosso, que preparava sua tese de livre docência nesta área. O trabalho de Rosso (1975) resultou num texto que serviu de base para a formação de duas gerações de pesquisadores na área de segurança contra incêndio, apesar do seu falecimento, sem defender a tese, em 1975. Tal incidente possivelmente impossibilitou que se desse, naquele momento, o primeiro grande passo para a integração entre a arquitetura e a segurança contra incêndio no meio acadêmico.

Figura 1.3 - Edifício Andraus em chamas.

No entanto, o Laboratório de Ensaios de Fogo do IPT e sua equipe, inicialmente liderada pelo Pesquisador e Professor Dr. Ualfrido Del Carlo, têm se mantido, desde então, atuante na área, ampliando sua capacitação técnico-laboratorial, gerando produção técnica e contribuindo para a formação de pesquisadores. Nos últimos vinte anos, contribuições neste sentido também têm ocorrido com a inserção do tema em pesquisas e formação de mestres e doutores em universidades como a USP (essencialmente na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e na Escola Politécnica) e também em outros centros acadêmicos do país.

Outro fruto destas grandes catástrofes foi a elaboração de um código de obras municipal que contemplava medidas amplas para assegurar o abandono seguro das edificações. Este foi promulgado no município de São Paulo, em 1975 – a Lei Municipal 8.266/1975 – Código de Edificações do Município de São Paulo.

Desde então, códigos, normas e regulamentações têm sido aprimorados visando à melhoria das condições de segurança contra incêndio das edificações, principalmente no âmbito do Estado de São Paulo, em movimento liderado pelo Corpo de Bombeiros e pelo corpo técnico da prefeitura municipal da Capital, com apoio de técnicos do IPT e participação do setor da construção civil, além dos representantes de fornecedores de equipamentos de proteção contra incêndio. No entanto, pouco tem sido a participação de um dos atores principais dentro deste cenário: os arquitetos, responsáveis pela concepção dos edifícios e especificação de seus materiais e componentes.

Especificamente, na cidade de São Paulo, devido ao histórico de incêndios de grande repercussão não só no próprio município, mas também no país e no mundo (Tabela 1.2), a preocupação em garantir condições para os ocupantes das edificações abandonarem estes locais com segurança começou a ser incorporada nas regulamentações municipais desde 1974.

Tabela 1.2 – Principais incêndios em edifícios altos na cidade de São Paulo

Data do Incêndio	Edifício	Altura (número de andares)	Andares atingidos	Vítimas fatais
13/01/1969	Grande Avenida– 1ª ocorrência.	23	5º ao 18º	0
24/02/1972	Andraus	31	1º ao 29º	16
01/02/1974	Joelma	25	12º ao 25º	179
04/09/1978	Conjunto Nacional,	26	1º ao 9º	0
09/04/1980	Secretaria da Fazenda	22	13º ao 14º	0
14/02/1981	Grande Avenida – 2ª ocorrência	23	1º ao 19º	17
03/06/1983	Scarpa	17	12º ao 13º	0
21/05/1987	Torres da CESP	21 e 17	Todos	2
09/01/2007	Juizado Especial Federal de SP	-	11º	0
27/03/2008	Fórum João Mendes Jr.	22	14º	0

Nesta mesma linha, a partir da década de 1980, surgiram outras referências técnicas que passaram a estabelecer parâmetros de segurança contra incêndio, como as normas brasileiras da ABNT e as regulamentações estaduais e de outros municípios.

No entanto, tem-se verificado que ao se projetar as saídas de emergência para um edifício alto com um determinado programa arquitetônico, considerando os requisitos de diferentes bases normativas, obtêm-se resultados fortemente distintos. As diferenças surgem em praticamente todas as características construtivas, como o tipo e/ou quantidade de escadas, largura de corredores e escadas, distâncias máximas a admissíveis, grau de resistência ao fogo das compartimentações, etc.

Considerando que tal situação dificulta tanto a atuação dos projetistas, e tem como consequência uma significativa variação no custo da obra e na área efetiva comprometida com as saídas de emergência (corredores, escadas, etc.), além de suscitar dúvidas sobre a fundamentação e coerência técnica da regulamentação ou norma em questão, verifica-se a necessidade de avaliar e aprimorar os métodos de dimensionamento das saídas de emergência em edificações elevadas.

1.3 O impacto das decisões de projeto arquitetônico sobre a segurança contra incêndio de edifícios altos

Analisando os incêndios catastróficos ocorridos neste país e no exterior, principalmente em edifícios de grande altura, verifica-se que o ponto nevrálgico é a vulnerabilidade das vias de circulação horizontal e vertical aos efeitos do incêndio (fumaça, calor e chamas). Um segundo aspecto a ser considerado, também relacionado à segurança da vida humana, é a rapidez com que o incêndio pode se propagar no interior do seu compartimento ou pavimento de origem e sua capacidade de expansão para os pavimentos vizinhos ou, até para edifícios vizinhos. É importante lembrar que todas essas condicionantes estavam presentes em incêndios de épocas menos remotas, como por exemplo, o do Edifício Grande Avenida (em 1981) e das Torres 1 e 2 da CESP (em 1987, vide Figura 1.4).

Figura 1.4 - Incêndio nas Torres de Escritórios da CESP.

Portanto, é necessário ressaltar que o projeto arquitetônico interfere tanto na segurança física das vias de circulação horizontal e vertical, como na definição da geometria e dos componentes e sistemas construtivos adotados para a fachada dos edifícios, além dos materiais de acabamento e equipamentos mobiliários que compõem o seu interior.

Estas medidas aqui citadas são denominadas medidas de proteção passiva contra incêndio, sendo aquelas que estão incorporadas à construção da edificação, possuem e mantêm suas características e as exercem permanentemente no seu dia a dia, e agem passivamente numa situação de incêndio. Existem, ainda, aquelas medidas denominadas de “proteção ativa”, que são acionadas, manual ou automaticamente, somente numa situação de emergência, constituídas de instalações prediais (elétricas e hidráulicas, como: sistemas de detecção e alarmes de incêndio, sistema de iluminação de emergência, sistema de extintores portáteis, sistema de hidrantes ou mangotinhos e sistema de extinção por chuveiros automáticos, dentre outros).

O arquiteto tem a responsabilidade de definir as medidas de proteção passiva e também deve ter noções básicas dos princípios da proteção ativa, pois somente desta forma pode garantir que os sistemas de proteção sejam projetados e instalados de forma adequada.

É importante também lembrar que apesar do Brasil ainda não estar na lista daqueles países que apresentam os edifícios mais altos do mundo, a possibilidade de sua participação não pode ser descartada para o futuro.

Atualmente, os edifícios mais altos na cidade de São Paulo são o Mirante do Vale e o Edifício Itália, que também são os mais altos do Brasil. A Tabela 1.3 a seguir, apresenta os 20 edifícios mais altos do Brasil¹¹ de uma lista dos edifícios concluídos com 100m ou mais de altura no país, no total de 167, dos quais 74 (44%) se situam na cidade de São Paulo, 25 (15%) no Rio de Janeiro, 24 (14%) em Goiânia e 12 em Salvador (7%). Observa-se, nesta lista, que a grande maioria dos edifícios altos no Brasil é de uso residencial.

Tabela 1.3– Os edifícios mais altos do Brasil

Posição	Nome	Localização	Altura (m)	Andares	Ano de conclusão
1	Mirante do Vale	São Paulo	170	51	1960
2	Edifício Itália	São Paulo	168	45	1965
3	Rio Sul Center	Rio de Janeiro	162	40	1982
4	Edifício Altino Arantes	São Paulo	161	40	1947
5	Torre Norte	São Paulo	158	38	1999
6	Edifício Begônias	São Paulo	158	41	2008
7	Edifício Jaboticabeiras	São Paulo	158	41	2008
8	Edifício Magnólias	São Paulo	158	41	2008
9	Edifício Resedá	São Paulo	158	41	2008
10	Mansão Margarida Costa Pinto	Salvador	150	43	2008
11	E-Tower	São Paulo	150	39	2005
12	Birmann 21	São Paulo	149	39	1996
13	Curitiba Trade Center	Curitiba	147	37	1999
14	Sede do BankBoston	São Paulo	145	35	2002
15	Edifício do Banco do Brasil	São Paulo	143	24	1955
16	105 Lelio Gama St.	Rio de Janeiro	143	40	1980
17	Edifício Svaa Evans	São Paulo	141	33	1994
18	Edifício Bragança Paulista	São Paulo	141	31	1989
19	Edifício Santos-Dumont	Rio de Janeiro	141	45	1975
20	Edifício Canário	São Paulo	141	40	2008

¹¹ http://pt.wikipedia.org/wiki/Anexo:Lista_de_arranha-c%C3%A9us_do_Brasil (acessado 09/12/2009)

A Tabela 1.4, apresenta dados de outros projetos de edifícios altos propostos no Brasil¹², os quais não foram concretizados efetivamente até o momento.

Tabela 1.4 – Projetos de edifícios altos propostos, ainda não concretizados.

Posição	Nome	Cidade	Altura (m)	Andares	Previsão de Inauguração
1	Orbita Residence	São Paulo	1111.9m	265	2011
2	Visionary Tower	Rio de Janeiro	795m	175	1999
3	Landmark Tower	São Paulo	695.5m	168	2009
4	City Tower Parque Anhembi	São Paulo	650 m	160	2011
5	Tietê Plaza	São Paulo	624 m	166	2009
6	Tower of Peace	São Paulo	508.1m	108	2000
7	Petrobrás Headquarters	São Paulo	450 m	120	--
8	Supertorre Cambuci	São Paulo	441 m	110	2008
9	The Business Tower I	São Paulo	402.9 m	106	2006
10	The Business Tower II	São Paulo	402.9 m	106	2006
11	The Business Tower III	São Paulo	402.9 m	106	2006
12	Parque Residencial Itaim-Bibi	São Paulo	399 m	99	2007
13	Sao Paulo Mega Center 1 & 2	São Paulo	378.7 m	97	2005
14	Sirius Millenium Tower	São Paulo	320 m	68	--
15	Cosmopolitan Tower	Salvador	250 m	75	--

Possivelmente, muitas destas obras citadas na tabela acima não foram sequer iniciadas e podem não ser nem construídas e outras podem estar com obras em andamento.

1.4 Hipóteses

Os diferentes métodos de dimensionamento de saídas de emergência, dos principais regulamentos no Brasil estão apresentados em forma de equações e seqüências de cálculo que não permitem uma avaliação da eficácia da solução final em termos de requisitos relevantes para os usuários e nem em termos de parâmetros de desempenho avaliáveis, como, por exemplo, o tempo total para abandono da edificação. Além disso, essa forma de apresentação e aplicação dos citados métodos restringe o uso de soluções alternativas e inovadoras, assim como a avaliação da eficácia destas soluções.

¹² http://pt.wikipedia.org/wiki/Anexo:Lista_de_arranha-c%C3%A9us_do_Brasil (acessado 09/12/2009)

Independentemente dessas desvantagens, métodos de dimensionamento de rotas de fuga baseados em procedimentos expeditos e de simples execução continuarão sendo utilizados uma vez que fornecem, rapidamente, as informações necessárias para serem utilizadas já nos estudos preliminares do projeto arquitetônico. Para projetos mais complexos, a verificação dessa parte do projeto e o seu refinamento podem ser feitos, posteriormente, com o emprego de modelos de simulação detalhada do processo de abandono do edifício.

1.5 Objetivos Gerais

Discutir e avaliar os métodos de dimensionamento de saídas de emergência de códigos prescritivos, considerando a possibilidade de adoção de parâmetros técnicos definidos para métodos de dimensionamento com base no desempenho.

Propor uma revisão dos critérios adotados nestes métodos de dimensionamento prescritivos, objetivando o seu aprimoramento, com a definição de parâmetros objetivos para o projeto de saídas de emergência.

1.6 Objetivos Específicos

Compreender e analisar o impacto dos métodos de dimensionamento das saídas de emergência nos projetos de edifícios de múltiplos pavimentos de escritórios.

Estudar a possibilidade de inserção de soluções alternativas aos critérios tradicionais de dimensionamento.

Propor novos parâmetros para dimensionamento de saídas de emergência.

1.7 Método de Trabalho

A pesquisa foi desenvolvida a partir da análise de documentações nacionais e estrangeiras relativas aos métodos e critérios de dimensionamento de saídas de emergência.

Após uma leitura crítica das documentações relativas ao tema, realizou-se uma análise comparativa entre os métodos prescritivos de dimensionamento, para verificações dos pontos comuns e divergentes existentes. Em seguida, os métodos de

dimensionamento com base no desempenho foram estudados, com vistas à compreensão das diferenças entre este método e o método prescritivo.

Posteriormente, foram realizados testes de validação dos métodos de dimensionamento de saídas de emergência prescritivos por meio de simulações computacionais, que empregam, até certo grau, parâmetros de métodos com base no desempenho.

1.8 Estrutura da Tese

O capítulo 1 introduz e contextualiza o problema da segurança contra incêndio em edifícios altos, além de justificar e definir os objetivos desta tese.

O capítulo 2 apresenta uma estrutura com as diretrizes de projeto de segurança contra incêndio, conforme ONO (2007), definindo os conceitos básicos de cada diretriz e destacando aqueles de maior importância e influência no projeto arquitetônico.

O objetivo do capítulo 3 é apresentar e analisar os aspectos conceituais do projeto de saídas de emergência, considerando os fatores que influenciam no seu dimensionamento e as estratégias de abandono para o caso dos edifícios altos de escritórios. O capítulo também inclui aspectos conceituais e referências relacionados ao comportamento humano em situação de incêndio, assim como a discussão de novas estratégias para abandono de edifícios elevados, elaboradas pós-atentado nas Torres Gêmeas do World Trade Center da cidade de Nova Iorque, em 2001.

No capítulo 4 discute-se o dimensionamento das saídas de emergência em edifícios altos; se inicia com uma retrospectiva histórica que permita o resgate dos valores adotados na formulação dos métodos de dimensionamento mais conhecidos. Estes métodos também serão apresentados e discutidos, visando, essencialmente, a compreensão da influência dos mesmos nas regulamentações brasileiras, discutidas nos próximos capítulos. Este capítulo também discute a transição dos métodos de cálculo manuais para os métodos de cálculo por computador e os tipos de modelos de simulação.

No capítulo 5 são analisados os requisitos que constam das normas e regulamentações abordadas nesta tese, para efeito de dimensionamento de saídas de emergência, assim como aqueles relativos aos dispositivos de proteção passiva e ativa exigidos para garantir a segurança de uso das rotas de fuga.

Códigos com base no desempenho são discutidos no capítulo 6, com o intuito de compreender a inserção do projeto de saídas de emergência e sua interação com as demais medidas de segurança contra incêndio neste contexto, além de apresentar os processos, parâmetros e critérios envolvidos na avaliação com base no desempenho.

O capítulo 7 apresenta uma análise comparativa dos aspectos dimensionais de saídas de emergência para edifícios altos de escritórios, considerando os textos prescritivos, de caráter normativo ou legislativo, previamente apresentados e comentados de forma geral no Capítulo 5 desta tese.

Os parâmetros de dimensionamento de projeto de saídas de emergência por meio de ferramentas computacionais são discutidos no capítulo 8. Inicialmente, apresentam-se duas ferramentas computacionais de simulação de evacuação utilizadas na pesquisa. Em seguida, o capítulo aborda as premissas adotadas para aplicação das ferramentas em questão para avaliação dos parâmetros de dimensionamento das saídas de emergência segundo as regulamentações e normas consideradas e discute os procedimentos adotados para atingir os objetivos desta pesquisa, assim como os resultados que levaram às discussões e considerações finais apresentadas no capítulo seguinte.

2 ASPECTOS A SEREM CONSIDERADOS NO PROJETO ARQUITETÔNICO

As medidas de segurança contra incêndio podem introduzir um custo adicional à edificação, tanto em sua construção como durante o seu uso, caso não sejam devidamente consideradas já nas etapas iniciais do projeto. Por outro lado, caso seja feita uma incorporação dessas medidas de segurança contra incêndio com base em diretrizes adequadas, integrando-as desde a fase de concepção do projeto arquitetônico, é possível obter soluções mais efetivas e a um menor custo.

2.1 Conceitos básicos e parâmetros de projeto

Considerando o amplo campo de atuação do arquiteto, dentro dos requisitos que definem a segurança contra incêndio em área urbana, são apresentados, a seguir, os principais itens a serem considerados num projeto arquitetônico, desde o ponto de vista da escala urbana até o detalhamento do interior de um edifício.

- No planejamento urbano:
 - Distribuição de postos de bombeiros na cidade;
 - Dimensões das vias públicas;
 - Existência de equipamentos urbanos de apoio;
- Na implantação do edifício no interior do lote:
 - Leis de zoneamento, que condicionam a geometria do edifício, o afastamento entre edifícios e o limite do lote;
 - Possibilidade e forma de acesso ao lote pelas equipes de combate a incêndio;
- No projeto paisagístico:
 - Fatores que determinam a instalação ou não de obstáculos para acesso ao lote e ao edifício pelo exterior;
- No projeto do edifício, quanto à proteção passiva e que determinam:

- A facilidade de ocorrência de um incêndio e de sua propagação pelo interior e pelo exterior do edifício;
- A estabilidade estrutural;
- O abandono rápido e seguro dos ocupantes e;
- A facilidade de acesso seguro aos bombeiros para salvamento de pessoas e combate ao fogo.

Para que um edifício seja considerado seguro contra incêndio, deve-se, de antemão, verificar quais os objetivos a serem atingidos e os requisitos funcionais a serem ali atendidos.

Considerando que condições de segurança estão associadas ao baixo risco de ocorrência de determinados eventos, que proporcionam perigo às pessoas e aos bens, percebe-se que elas podem ser obtidas através da eliminação de tais riscos. Como a eliminação total de riscos é, na prática, impossível, pode-se entender a segurança contra incêndios como o fruto de um conjunto de medidas que devem estar compatibilizadas e racionalmente integradas para diminuir a probabilidade do risco de incêndio e minimizar suas consequências.

2.1.1 Medidas de segurança contra incêndio

É possível agrupar as medidas a serem tomadas para garantir a segurança contra incêndio em medidas de prevenção e medidas de proteção. As medidas de prevenção são aquelas que se destinam a prevenir a ocorrência do início do incêndio, isto é, diminuir a probabilidade do incêndio iniciar. As medidas de proteção são aquelas destinadas a proteger a vida humana e os bens materiais dos efeitos nocivos do incêndio que já se desenvolve. Em conjunto, essas medidas visam a manter o risco de incêndio em níveis aceitáveis.

BERTO (1991) estabelece oito elementos que compõem as medidas de prevenção e proteção contra incêndio, relacionando-os às etapas de crescimento do fogo, a saber:

- 1) Precaução contra o início do incêndio: o único composto por medidas de prevenção que visam a controlar eventuais fontes de ignição e sua interação com materiais combustíveis;
- 2) Limitação do crescimento do incêndio: composto por medidas de proteção que visam a dificultar, ao máximo, o crescimento do foco do incêndio, de forma que este não se espalhe pelo ambiente de origem, envolvendo materiais combustíveis presentes no local e elevando rapidamente a temperatura interna do ambiente;
- 3) Extinção inicial do incêndio: composto por medidas de proteção que visam a facilitar a extinção do foco do incêndio, de forma que ele não se generalize pelo ambiente;
- 4) Limitação da propagação do incêndio: composto por medidas de proteção que visam a impedir o incêndio de se propagar para além do seu ambiente de origem;
- 5) Evacuação segura do edifício: visa a assegurar a fuga dos usuários do edifício de forma que todos possam sair com rapidez e em segurança;
- 6) Precaução contra a propagação: visa a dificultar a propagação do incêndio para outros edifícios próximos daquele de origem do fogo;
- 7) Precaução contra o colapso estrutural: visa a impedir a ruína parcial ou total da edificação atingida. As altas temperaturas, em função do tempo de exposição, afetam as propriedades mecânicas dos elementos estruturais, podendo enfraquecê-los até que provoquem a perda de sua estabilidade;
- 8) Rapidez, eficiência e segurança das operações: visa a assegurar as intervenções externas para o combate ao incêndio e o resgate de eventuais vítimas.

As medidas de proteção contra incêndio podem ser, por sua vez, divididas em duas categorias: as medidas de proteção passiva e as medidas de proteção ativa. Estas

principais medidas são apresentadas no Quadro 2.1, classificadas em função dos objetivos da proteção definidos pelos elementos propostos por BERTO (1998).

Elemento	Medidas de proteção passiva	Medidas de proteção ativa
Limitação do crescimento do incêndio	Controle da quantidade de materiais combustíveis incorporados aos elementos construtivos. Controle das características de reação ao fogo dos materiais e produtos incorporados aos elementos construtivos	Provisão de sistema de alarme manual Provisão de sistema de detecção e alarme automáticos.
Extinção inicial do incêndio	-----	Provisão de equipamentos portáteis (extintores de incêndio).
Limitação da propagação do incêndio	Compartimentação vertical. Compartimentação horizontal.	Provisão de sistema de extinção manual (hidrantes e mangotinhos). Provisão de sistema de extinção automática de incêndio.
Evacuação segura do edifício	Provisão de rotas de fuga seguras e sinalização adequada.	Provisão de sinalização de emergência. Provisão do sistema de iluminação de emergência. Provisão do sistema de controle do movimento da fumaça. Provisão de sistema de comunicação de emergência.
Precaução contra a propagação do incêndio entre edifícios	Resistência ao fogo da envoltória do edifício, bem como de seus elementos estruturais. Distanciamento seguro entre edifícios.	-----
Precaução contra o colapso estrutural	Resistência ao fogo da envoltória do edifício, bem como de seus elementos estruturais.	-----
Rapidez, eficiência e segurança das operações de combate e resgate.	Provisão de meios de acesso dos equipamentos de combate a incêndio e sinalização adequada.	Provisão de sinalização de emergência; Provisão do sistema de iluminação de emergência; Provisão do sistema de controle do movimento da fumaça;

Quadro 2.1 - Medidas de proteção ativa e passiva.

Fonte: Berto (1998)

Verifica-se, conforme mostrado no Quadro, que as medidas passivas de proteção contra incêndio têm papel importante na garantia da segurança contra incêndio das edificações. Tanto as medidas passivas como ativas devem apresentar o desempenho desejado numa situação de incêndio, a fim de cumprir sua função de proteção. No entanto, cabe, novamente, lembrar que a efetividade das medidas de proteção sofre grande influência das decisões arquitetônicas, em particular, as medidas de proteção passiva, caso o projetista não as considere como um elemento intrínseco do projeto.

2.2 Parâmetros de projeto para as medidas de proteção passiva

A seguir, são apresentados os parâmetros de projeto para as medidas de proteção passiva das edificações, considerando a abordagem discutida anteriormente, do ponto de vista da escala urbana até o interior do ambiente construído.

2.2.1 Do planejamento urbano

Por mais que se tomem medidas preventivas e de proteção contra incêndio na própria edificação, estas podem falhar e o incêndio, sair do controle. Nestes casos, poderá ser necessário contar com a intervenção do Corpo de Bombeiros, para evitar que o fenômeno se torne uma tragédia de grandes proporções.

O acesso à edificação é um ponto crítico neste processo e deve ser entendido como o trajeto desde o posto de bombeiros até o local da ocorrência. Assim, os critérios para a distribuição dos postos de bombeiros nas cidades devem estar claramente definidos e inseridos no planejamento urbano da cidade. As dimensões (largura e altura livre) das vias urbanas de acesso (Figura 2.1) têm grande influência no rápido deslocamento e na manobra dos equipamentos de combate, assim como as condições topográficas das vias e do entorno da edificação considerada (Figura 2.2).

Nas grandes cidades, outro fator a considerar é o tráfego pesado e os congestionamentos, que podem aumentar o tempo para o atendimento da ocorrência, denominado “tempo-resposta”, significativamente. A análise deste parâmetro pode ser realizada com base, por exemplo, na Instrução Técnica Nº 5 – *Segurança contra Incêndios – Urbanística* (CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2004a).

Figura 2.1 – Largura e altura livre de vias públicas para passagem de veículos de bombeiros.
Fonte: Garcia (2006, p.12).

Figura 2.2 – Condições topográfica e nível de adensamento das cidades.
Fonte: Garcia (2006, p.16).

Além disso, seria importante considerar outros fatores condicionados pela infraestrutura urbana disponível no local e sua influência, positiva ou negativa, nas

atividades de bombeiros. Destacam-se os fatores negativos como a presença de postes de energia e iluminação, cabos, placas e “outdoors”, dentre outros elementos que podem obstruir ou dificultar o acesso das viaturas de bombeiros. Entre os fatores positivos, é importante destacar a provisão de água para combate ao fogo próximo ao local do incêndio, que deveria ser fornecida pela concessionária de água, por meio de pontos de hidrantes urbanos, distribuídos na malha urbana e ligados à rede pública de abastecimento de água da cidade (Figura 2.3). Para sua utilização efetiva, os hidrantes também devem estar desobstruídos e em condições adequadas de uso, além de se ter garantida uma faixa de guia / calçada livre para aproximação da viatura de bombeiro que deve realizar a pressurização e bombeamento da água para combate ao fogo, prevista na resolução nº 31 do CONTRAN de 21/05/1998¹³.

Figura 2.3 – Infraestrutura urbana – Rede de hidrantes urbanos.
Fonte: Garcia (2006, p.15).

2.2.2 Da implantação do edifício no interior do lote

Uma vez que o veículo dos bombeiros chega ao local da ocorrência propriamente dito, ou seja, à entrada do lote ou condomínio, este pode enfrentar graves problemas como a dificuldade de acesso em vias internas, que muitas vezes não estão dimensionadas para permitir manobras ou suportar veículos de grande porte. Na Figura 2.4 são apresentadas algumas dimensões típicas dos veículos utilizados por bombeiros para combate de incêndios.

¹³ www.dentran.gov.br/download/Resolucoes/resolucao031_98.doc_acessado 01/05/2010

Figura 2.4 – Exemplos de dimensões de veículos de bombeiros.

Fonte: Garcia (2006, p.13).

A possibilidade de acesso da via até pelo menos uma das fachadas do edifício atingido pelo incêndio utilizando os equipamentos dos bombeiros é sempre desejável, para permitir intervenções de combate ou salvamento pelo exterior.

Além do colapso do edifício, o pior fenômeno que se pode esperar na evolução do incêndio é o da conflagração, nome dado ao fenômeno onde edifícios adjacentes são sucessivamente envolvidos no incêndio. A propagação do incêndio entre edifícios isolados (Figura 2.5) pode ocorrer quando a transmissão do calor, por radiação e/ou convecção for de intensidade suficiente para a ignição de superfícies da fachada expostas ao calor e às chamas do edifício adjacente ou para o rompimento de elementos dessa fachada, expondo o seu interior ao fluxo de energia térmica.

A parte da energia térmica, liberada por um incêndio que ocorre no interior de um edifício, que será irradiada para as edificações vizinhas através de fachadas resistentes ao fogo, será função das dimensões das aberturas existentes nessas fachadas e da carga incêndio existente no interior do edifício, que, por sua vez, determina, também, a duração do incêndio.

Figura 2.5 – Afastamento entre edificações.

Fonte: Garcia (2006, p.17).

Assim, a avaliação de desempenho desta medida de proteção passiva deveria ser realizada com base no projeto arquitetônico apresentado e com comprovação por cálculos que permitiram a obtenção de valores de distanciamento seguro.

Como referências para dimensionamento de afastamentos, podem ser adotadas as seguintes documentações técnicas: Instrução Técnica N^o 6 – *Acesso de Viatura na Edificação e Áreas de Risco* (CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2004b) e Instrução Técnica N^o 7 – *Separação entre edificações (isolamento de risco)* (CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2004c).

2.2.3 Do projeto paisagístico

O projeto paisagístico no interior de um lote ou de uma área condominial deve considerar os equipamentos e mobiliários urbanos (postes, bancas de jornal, caixas de correio, cabines telefônicas, outdoors, etc.), assim como outras intervenções paisagísticas (como jardins, fontes e espelhos d'água, grandes esculturas, dentre outros) que podem se tornar eventuais obstáculos, caso não se considere a facilidade de acesso dos veículos de combate e salvamento numa situação de emergência (Figura 2.6). Tais

condições podem ser avaliadas numa análise do projeto paisagístico juntamente com o projeto de implantação da edificação no lote.

Figura 2.6 – Condições de acesso à fachada principal da edificação.

Fonte: Garcia (2006, p. 14).

2.2.4 Do projeto da edificação

O projeto arquitetônico da edificação deve considerar uma série de parâmetros de segurança contra incêndio, relacionadas ao tipo de uso e ocupação da edificação, assim como à escolha do tipo de sistema construtivo e à especificação de materiais de acabamento e revestimento.

2.2.4.1 Carga de incêndio

A quantidade de materiais combustíveis existente num compartimento e a sua taxa de queima têm relação direta com a intensidade que um incêndio pode alcançar neste mesmo local, sendo, portanto, um grande definidor do risco de incêndio daquele ambiente e, conseqüentemente, importantes parâmetros para definição dos sistemas de proteção contra incêndio compatíveis com este risco. O termo técnico utilizado para definir a quantidade de material combustível denomina-se “carga de incêndio”. Parâmetros de carga de incêndio podem ser encontradas na Instrução Técnica N^o 14 – Carga de incêndio nas edificações e áreas de risco (CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2004d) e também no anexo da NBR 14432 –

Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2000).

Como medida de proteção passiva, o controle da carga de incêndio tem papel fundamental no projeto, à medida que se definem os elementos construtivos que serão empregados na construção da edificação. Os fabricantes deveriam estar aptos a fornecer o poder calorífico dos seus produtos, para que se possa estimar o que se pode denominar “carga de incêndio permanente ou fixa” do edifício projetado, priorizar aqueles que possuam índices baixos ou nulos, ou prever outros sistemas de proteção que reforcem o projeto de segurança contra incêndio como um todo.

Além da carga de incêndio incorporada aos elementos construtivos, existe a carga de incêndio “acidental” inerente ao conteúdo da edificação, que varia de acordo com o tipo de uso / ocupação do espaço. No mínimo, deve-se considerar o tipo de mobiliário nos vários perfis de uso, assim como situações mais críticas, como áreas de almoxarifado ou depósito.

A avaliação da combustibilidade de materiais assim como da quantidade de calor liberado na sua combustão é realizada através de ensaios laboratoriais mundialmente conhecidos e denominados genericamente de “Ensaio de Incombustibilidade” e “Ensaio de Determinação do Poder Calorífico”, respectivamente.

2.2.4.2 Materiais de acabamento e revestimento

Na etapa de especificação dos produtos de acabamento e revestimento que irão compor o projeto de um edifício, os produtos combustíveis, que no caso de um princípio de incêndio podem propagar as chamas rapidamente, podem ser incorporados inadvertidamente.

A escolha desses produtos deve considerar a sua contribuição na facilidade de ignição e no crescimento inicial do incêndio. Assim, é necessário que se conheçam alguns critérios de avaliação para a seleção dos materiais que farão parte do acabamento interno e externo, da vedação, entre outros. Dentre os produtos, é necessário considerar os de acabamento e revestimento de piso, teto e forro, paredes e cobertura, incluindo materiais termoacústicos.

O conjunto de ensaios de caracterização dos produtos quanto à sua contribuição no crescimento do incêndio é denominado de Reação ao Fogo. Incluem-se nesta categoria os ensaios que determinam:

- Combustibilidade ou Incombustibilidade;
- Quantidade de calor liberado na combustão;
- Velocidade de propagação superficial das chamas;
- Quantidade dos produtos da combustão (gases quentes, fumaça e fuligem);
- Qualidade dos produtos da combustão, ou seja, efeitos como a densidade ótica, a toxicidade e a irritabilidade dos gases emitidos.

Num primeiro momento é necessário estabelecer se o produto pode contribuir com o crescimento de um incêndio (Figura 2.7), determinando se o mesmo é combustível ou incombustível. Caso seja classificado como incombustível, é possível afirmar que o mesmo não emite gases combustíveis que podem alimentar um incêndio. No entanto, é necessário considerar que quando a estes materiais são agregados outros, combustíveis ou com características desconhecidas, obtém-se um novo produto, que deve ser avaliado quanto ao seu desempenho ao fogo.

Caso o produto seja classificado como combustível em ensaios laboratoriais, passa a ser necessário determinar o quão combustível é e quais os efeitos de sua combustão. Segue a necessidade de execução dos demais ensaios que determinam as outras características enumeradas acima.

Não existe ainda, no mundo, uma unanimidade sobre os melhores métodos de ensaio laboratoriais a serem adotados para avaliar o desempenho de materiais de acabamento e revestimento ao fogo.

Figura 2.7 – Evolução do incêndio.

Fonte: Garcia (2006, p.11).

Dentre os ensaios tradicionalmente realizados no Brasil figuram:

- NBR 9442 – Materiais de Construção – Determinação do índice de propagação superficial de chamas pelo método do painel radiante – Método de ensaio (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1986);
- ASTM E 662 – Standard test method for specific optical density of smoke generated by solid materials (AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS, 2005);
- ISO 1182 – Reaction to fire tests for buildings products – Non-combustibility test (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2002).

A adoção de um método ou outro método, mais que uma questão técnica, está vinculada às origens do desenvolvimento dos ensaios laboratoriais, que se deu de forma muito regional nos continentes, existindo ensaios variados e diferentes em vários países

do mundo (à exceção do ensaio de incombustibilidade) que resulta numa certa resistência à adoção de novos ensaios, mesmo que padronizados. Uma discussão mais aprofundada sobre este assunto pode ser encontrada em Mitidieri (1998) e os critérios atualmente adotados no Estado de São Paulo são estabelecidos pela Instrução Técnica Nº 10 – Controle de materiais de acabamento e revestimento (CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2004e).

2.2.4.3 Compartimentação

A compartimentação é uma medida de proteção passiva que visa à contenção do incêndio em seu ambiente de origem e é obtida pela subdivisão do edifício em células capazes de suportar a ação da queima dos materiais combustíveis nelas contidos, impedindo o rápido alastramento do fogo (Figura 2.8 e Figura 2.9). Esta medida, adicionalmente, restringe a livre movimentação da fumaça e dos gases quentes no interior do edifício e tende a facilitar o abandono seguro dos seus ocupantes, assim como as operações de combate ao fogo. Daí a sua importância, discutida com profundidade por Costa; Ono e Silva (2005) e também abordada na Instrução Técnica Nº 09 – Compartimentação Horizontal e Compartimentação Vertical (CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2004f).

Figura 2.8 – Aspecto da propagação horizontal do incêndio em ambientes não compartimentados.

Fonte: Garcia (2006, p.26).

Figura 2.9 – Efeito da compartimentação vertical.

Fonte: Garcia (2006, p.26).

A compartimentação horizontal se destina a impedir a propagação do incêndio no interior do próprio pavimento em que este se originou, de forma que grandes áreas de pavimento não sejam afetadas (Figura 2.10) e pode ser obtida através da composição dos seguintes dispositivos:

- Paredes corta-fogo para subdivisão de grandes áreas de pavimento, do piso ao teto ou à cobertura;
- Portas corta-fogo, nas aberturas das paredes corta-fogo destinadas à circulação de pessoas e de equipamentos;
- Registros corta-fogo, nos dutos de ventilação, dutos de exaustão, entre outros, que transpassam as paredes corta-fogo;
- Selos corta-fogo, nas passagens de cabos elétricos e tubulações por paredes corta-fogo.

Figura 2.10 – Elementos de compartimentação horizontal.

Fonte: Garcia (2006, p.25).

A compartimentação vertical se destina a impedir a propagação do incêndio entre pavimentos adjacentes e deve ser obtida de tal forma que cada pavimento componha um compartimento isolado em relação aos demais. Para isto é necessária a composição com:

- Fachadas cegas, abas verticais e abas horizontais com resistência ao fogo sob as aberturas na envoltória do edifício (Figura 2.11) que dificultam a propagação de chamas e dos gases quentes pelas aberturas nos pisos consecutivos da fachada;
- Enclausuramento de caixas de escadas através de paredes e portas corta-fogo, pois estas intercomunicam vários pavimentos, podendo se tornar um meio de propagação vertical de chamas, calor e fumaça internamente ao edifício;
- Registros corta-fogo, nos dutos de ventilação, dutos de exaustão, entre outros, que intercomunicam os pavimentos;
- Entre-pisos corta-fogo;
- Selos corta-fogo, nas passagens de cabos elétricos e tubulações entre os pavimentos (Figura 2.12).

Figura 2.11 – Elementos de compartimentação vertical de fachadas.

Fonte: Garcia (2006, p.27).

Figura 2.12 – Compartimentação vertical de dutos.

Fonte: Garcia (2006, p.25).

A avaliação da compartimentação no projeto e na construção deve ser realizada pela verificação da presença de elementos com características que garantam a sua efetividade e dos detalhes específicos de proteção de aberturas como portas, janelas, dutos e shafts. No entanto, é necessário, numa etapa anterior, certificar-se da eficácia do sistema construtivo proposto na composição da compartimentação, assim como o atendimento ao tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) do mesmo. Tal avaliação é normalmente realizada através de ensaios de Resistência ao Fogo das paredes e dos vedadores (portas, dampers, etc.), neles instalados.

2.2.4.4 Controle do movimento da fumaça

O controle do movimento da fumaça tem como objetivo não permitir que a mesma dificulte o abandono seguro da edificação pelos seus ocupantes, assim como prover condições para que as atividades de salvamento e combate ao fogo sejam realizadas em condições seguras.

Para tanto, podem ser adotadas tanto medidas de proteção passiva como ativas para conter a expansão da fumaça no interior da edificação. As medidas passivas podem ser mais ou menos efetivas, em função da geometria, altura e área da edificação. Em geral, quanto maior e mais complexo o edifício, mais difícil se torna o controle apenas por meios passivos. No entanto, é possível considerar a adoção de medidas como contenção da fumaça por barreiras e sua ventilação e/ou exaustão natural, como visto na Figura 2.13.

Figura 2.13 – A influência da contenção e exaustão natural da fumaça.

Fonte: Garcia (2006, p.23).

Além disso, deve-se ressaltar a importância da adoção de medidas de compartimentação, que também garantem a estanqueidade à fumaça de dutos e shafts. Já a estanqueidade à fumaça de portas, exigidas em algumas situações, devem ser garantidas por meio de portas especiais, denominadas “corta-fumaça (smoke-proof)”.

2.2.4.5 Resistência ao fogo de elementos construtivos

Ao contrário do que ocorre com os ensaios de Reação ao Fogo, os ensaios de Resistência ao Fogo acompanham, mundialmente, uma curva padrão de elevação de temperatura a que o corpo-de-prova deve ser submetido no interior do forno de ensaio. Isso permite a comparação de resultados de avaliação de desempenho realizados em laboratórios de várias partes do mundo.

Para avaliação e classificação da resistência ao fogo de elementos (portas, janelas, dampers, etc.) e sistemas construtivos de vedação horizontal ou vertical (paredes e pisos), são considerados os seguintes critérios:

- Estanqueidade: permite avaliar se as chamas e os gases quentes desenvolvidos no interior do ambiente em combustão são liberados por fissuras ou aberturas no elemento construtivo, podendo expor as pessoas e os objetos que se encontram na face não exposta ao fogo aos efeitos do incêndio;
- Isolamento térmico: permite avaliar se o calor transmitido por radiação e condução através da superfície do elemento construtivo pode ameaçar a segurança das pessoas e dos objetos que se encontram na face não exposta ao fogo aos efeitos do incêndio;
- Estabilidade: permite avaliar se o elemento ou sistema construtivo não perde seu caráter funcional (seja esta portante/ estrutural ou simplesmente de vedação), ou seja, não entra em ruína durante o tempo de ensaio.

Tais critérios são definidos nos seguintes métodos de ensaio:

- NBR 6479 – Portas e vedadores – Determinação da resistência ao fogo – Método de ensaios (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992);
- NBR 10636 – Paredes divisórias sem função estrutural – Determinação da resistência ao fogo – Método de ensaio (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989).

As estruturas dos edifícios, em função dos materiais e da geometria que as constituem, devem ser dimensionadas de forma a possuírem resistência ao fogo compatível com a magnitude do incêndio a que possam vir a ser submetidas.

A avaliação das estruturas frente ao fogo tem sido realizada, tradicionalmente, por ensaios de resistência ao fogo nos elementos estruturais específicos. Pode-se citar, como exemplo, o método de ensaio descrito na NBR 5628 – Componentes construtivos estruturais – Determinação da resistência ao fogo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1980). No entanto, nas últimas décadas, o desenvolvimento de modelos computacionais de cálculo estrutural, associado aos modelos computacionais de estimativa da intensidade do fogo, baseada na carga incêndio, têm possibilitado o cálculo e a avaliação dos elementos estruturais de forma mais expedita e com custos menores, como pode ser encontrado na NBR 14432 – Exigência de resistência ao fogo de elementos de construção de edificação – Procedimento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2000).

Ainda assim, os ensaios de resistência ao fogo não são totalmente dispensáveis, principalmente no caso da necessidade de caracterização de novos materiais e elementos frente ao fogo, para efeito de pesquisa e de coleta de dados que podem ser introduzidos, posteriormente, nos modelos computacionais de cálculo.

Uma das grandes vantagens dos modelos computacionais é a possibilidade que estes apresentam de estimar as deformações que podem surgir na estrutura, considerando grandes trechos nas análises e não se limitando, geometricamente, às dimensões do forno de ensaio. Normas brasileiras têm sido desenvolvidas para tanto, como a NBR 14323 – Dimensionamento de estrutura de aço em situação de incêndio – Procedimento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1999) e NBR 15200 – Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio – Procedimento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

2.2.4.6 Saídas de emergência

As rotas de fuga ou saídas de emergência são projetadas para garantir a saída dos ocupantes de edifícios em situações emergenciais, rápida e sem riscos, de qualquer

ponto até um local seguro, normalmente representado por uma área livre e afastada do edifício. Um projeto adequado deve permitir que todos abandonem as áreas de risco num período mínimo de tempo através das saídas. Quanto maior o risco, mais fácil e rápido deve ser o acesso até uma saída, pois, dependendo do tipo de construção, das características dos ocupantes e dos sistemas de proteção existentes, o fogo e/ou a fumaça podem impedir rapidamente sua utilização. Para evitar tal inconveniência, a provisão de duas saídas independentes é fundamental, exceto onde o edifício ou o ambiente em questão apresentam dimensões tão pequenas ou são arranjos de tal forma que uma segunda saída não aumentaria a segurança dos ocupantes.

Além de permitir o abandono seguro dos edifícios pelos seus ocupantes, um bom projeto de saídas de emergência deve, também, proporcionar às equipes de salvamento e combate ao fogo, um fácil acesso ao interior do edifício. Disto pode depender o sucesso das operações dessas equipes em salvar vidas e reduzir perdas patrimoniais.

O dimensionamento das partes que compõem as saídas, atualmente, depende da lotação das edificações e é definida de acordo com a classe de ocupação do local (que está relacionado ao seu risco) por normas, como a NBR 9077 – Saídas de emergência em edifícios (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993) e regulamentações federais, estaduais ou municipais.

A avaliação do desempenho das rotas de fuga se faz, portanto, através da análise do projeto de saídas de emergência e em conjunto com os dados relativos ao desempenho dos elementos construtivos que as compõem, quando se tratarem de medidas de proteção passiva.

Uma questão não abordada neste capítulo, devido à sua complexidade, é a avaliação de desempenho dos diferentes tipos de escadas de segurança (escadas abertas; simplesmente enclausuradas ou protegidas; com antecâmaras, com ventilação natural por dutos ou aberturas diretas para o exterior; e escadas pressurizadas, com ou sem antecâmaras) no que se refere à segurança dos usuários, que não devem ficar expostos aos efeitos do incêndio, principalmente, fumaça, calor e gases quentes. São poucos ainda os estudos nacionais que contemplam esta questão, como aqueles apresentados por Seito; Berto (1988), por Ono; Vittorino (1998) e por Haddad (2003),

sendo que o ponto crítico se refere à efetividade de escadas com dutos de ventilação natural em edifícios de grande altura (medida de proteção passiva) em relação às escadas mecanicamente pressurizadas (medida de proteção ativa).

Nos últimos 20 anos, estudos internacionais nesta área têm considerado o uso de modelos computacionais para estimar o tempo de abandono em edificações e para simular o crescimento de um incêndio no interior de uma edificação, tanto para avaliar projetos existentes ou analisar catástrofes que levaram a múltiplas mortes, como para considerar sua inserção em novos projetos de grande complexidade, como por exemplo, edifícios de grande altura e grandes estádios esportivos.

2.3 A Incorporação da Segurança contra Incêndio no Projeto de Edificações

A segurança contra incêndio, apesar de ser considerada como um dos requisitos básicos de desempenho no projeto, construção, uso e manutenção das edificações, é pouquíssimo contemplada como disciplina no currículo das escolas de engenharia e arquitetura no país. Portanto, são raros os profissionais que consideram este fator ao projetar uma edificação; assim, este requisito passa a ser tratado somente como um item de atendimento compulsório/ burocrático à regulamentação do Corpo de Bombeiros ou da Prefeitura local.

As regulamentações existem para garantir que o nível mínimo de segurança seja exigido e atendido. No entanto, nem sempre a exigência se traduz numa boa solução de projeto, principalmente se o projetista não domina os pressupostos que levaram à criação daquele requisito. Por outro lado, sem a compreensão conceitual das exigências, o arquiteto também não possui ferramentas para propor soluções alternativas de projeto que resultem numa edificação igualmente, ou até mais, segura e estética/funcionalmente satisfatória do que aquela induzida pelo código, tolhendo, assim a liberdade criativa.

As regulamentações na área de segurança contra incêndio de edificações são, historicamente, de caráter prescritivo, ou seja, apresentam muitos requisitos específicos que acabam por não permitir soluções alternativas.

Atualmente, discute-se, mundialmente, a questão dos códigos e regulamentações baseados em desempenho (performance-based codes), também entre os especialistas em segurança contra incêndio. O desenvolvimento tecnológico permite, hoje, a adoção de novos materiais e sistemas construtivos, novas alternativas e soluções técnicas, que não estão contempladas nos tradicionais códigos prescritivos, não existindo, muitas vezes, meios para sua avaliação, excetuando-se aquelas soluções que adotam parâmetros de desempenho, conforme aborda Puchovsky (1996).

As regulamentações de segurança contra incêndio têm se apresentado muito amenas em relação às exigências para edifícios existentes que estão particularmente vulneráveis a incêndios, pois muitos foram erguidos em épocas em que tais regulamentações de segurança contra incêndio não existiam. Torna-se necessária, também, a aplicação dos conceitos básicos de segurança contra incêndio nas adaptações, pois muitos desses projetos realizados até hoje apresentam soluções ineficazes (ONO, 2002).

3 FUNDAMENTOS DO PROJETO DE SAÍDAS DE EMERGÊNCIA DE EDIFÍCIOS ALTOS

3.1 Princípios básicos do abandono /conceitos /premissas

Um dos princípios básicos da segurança contra incêndio em edificações é garantir a segurança à vida dos seus ocupantes. Para tanto, uma série de medidas de prevenção e proteção contra incêndio contribuem para que os ocupantes das edificações não sejam expostos aos perigos do incêndio. Essas medidas focam o controle: das atividades de risco; da carga incêndio; do desenvolvimento do princípio de incêndio; da propagação do incêndio além do compartimento de origem; da movimentação e expansão da fumaça; etc. No entanto, tais controles podem falhar e, assim, passa a ser necessário prover as edificações de saídas de emergência adequadas e suficientes para a evacuação segura de sua população.

Neste sentido, vários parâmetros podem ser utilizados para determinar o grau admissível de exposição dos ocupantes aos efeitos do incêndio. Tais parâmetros podem variar também em função do tipo de ocupação da edificação ou perfil dos ocupantes, assim como de sua localização em relação à origem do incêndio.

A determinação desses parâmetros é, normalmente, de responsabilidade do poder público a quem caberia definir condições-limite de exposição e, assim, refleti-las nas exigências das regulamentações de segurança contra incêndio. No entanto, na prática, nem todas as regulamentações apresentam tais parâmetros, implícita ou explicitamente.

Atualmente, vários dados estão disponíveis sobre as condições-limite de exposição do ser humano aos efeitos do incêndio (calor, fumaça, chamas e gases), encontrados em publicações consagradas como a de DiNenno et al. (2002), a partir dos quais é possível determinar os parâmetros de projeto de segurança contra incêndio visando à segurança à vida.

As condições às quais as pessoas ficarão expostas aos efeitos do incêndio variam ao longo do tempo em função da evolução desse fenômeno. A agressividade destas

condições acaba por, de certa forma, definir os tempos admissíveis para abandono da edificação pelas pessoas.

A regulamentação britânica (NBS BUILDING REGULATIONS, 2006), por exemplo, determina que qualquer pessoa localizada no interior de um edifício deve atingir um local seguro em até 2,5 minutos. Entende-se como local seguro aquele onde os ocupantes estariam livres da exposição aos efeitos do incêndio, podendo este local estar ainda no interior da edificação, ou fora da mesma. Quanto maior e mais complexo o edifício, mais tempo as pessoas podem levar para atingir um local seguro e, por consequência, haverá maior probabilidade de ficarem expostas aos efeitos do incêndio, a menos que providências adequadas sejam tomadas no projeto. Nessas premissas é que se estrutura todo o sistema de proteção contra incêndio das edificações, no caso britânico.

Assim, o projeto de saídas de emergência deve contar com dimensionamento adequado e suficiente das rotas de fuga, tanto em relação à largura das vias de escoamento, quanto ao número dessas vias, além de garantir a proteção adequada das mesmas.

3.1.1 Largura das saídas

A largura das rotas de fuga (vias de escoamento) é determinada, essencialmente, pelo número de pessoas que vai fazer uso delas. Portanto, tradicionalmente, utilizam-se dados de densidade de ocupação populacional, por tipo de uso das edificações, para determinar a população estimada. Tendo-se a população estimada para cada um dos ambientes do pavimento, no caso de rotas de fuga horizontais, considera-se um valor de fluxo ou velocidade de caminhamento para essas pessoas. Para tanto, o ideal é conhecer o perfil da população (idade, gênero, peso e altura, condições de mobilidade, etc.) para determinar esse valor para cada tipo de ocupação.

Tradicionalmente, considera-se a largura mínima de rotas de fuga como sendo aquela por meio da qual duas pessoas conseguem caminhar lado a lado, ou seja, uma largura correspondente a duas medidas de pessoas, de ombro a ombro. Porém, estudos têm demonstrado que esta largura deve considerar fatores adicionais, tais como: o

balanço lateral do corpo no movimento do andar; as características das paredes circundantes (aspereza); a existência de saliências contínuas ou não, como corrimãos e outros elementos construtivos; a distância que as pessoas mantêm de outras pessoas (bolha de proteção), ao caminhar, principalmente entre pessoas não íntimas, etc. (FRUIN, 1987; PAULS, 1980).

A princípio, a largura das rotas de fuga não deve diminuir no sentido da saída. Além disso, rotas de fuga não devem sofrer obstruções que venham a diminuir a sua capacidade de fluxo. Esse conceito faz com que objetos, mobiliários ou equipamentos com previsão de instalação ao longo deste caminho determinam a adoção de espaço adicional, além da largura mínima para escoamento das pessoas, no processo de dimensionamento do ambiente construído.

O principal fator restritivo para o escoamento horizontal, além de obstáculos, é a presença de portas, caso estas não tenham sido dimensionadas de forma adequada. Conceitualmente, a rota de fuga horizontal (corredor) não deve possuir portas que diminuam a sua largura efetiva (capacidade) para o escoamento e causem congestionamentos que comprometam o tempo para abandono seguro. No entanto, portas também podem existir na passagem de um ambiente ocupado para um corredor, por exemplo, ou seja, no acesso à rota de fuga. Neste caso, uma ou mais portas devem ser dimensionadas para atender a saída da população deste ambiente dentro de um tempo de abandono admissível e, neste ponto, pode ocorrer um congestionamento (aceitável) de pessoas por certo tempo e os valores para dimensionamento desta passagem devem ser adequados para a situação. Também é importante ressaltar a necessidade das portas em saídas de emergência terem suas folhas abertas no sentido do fluxo.

Outro ponto a ser lembrado é que o perfil da população tem mudado nas últimas décadas, com parte significativa da população constituída de pessoas mais obesas, portanto, com largura de ombro a ombro maiores e com caminhar mais lento, e o aumento da população de terceira idade, também com menor velocidade de caminamento. Desta forma, esta mudança no perfil da população deveria ser

considerada, quando sua participação for significativa na composição dos ocupantes e usuários das rotas de fuga de certa edificação.

3.1.2 Número mínimo de saídas

O número mínimo de saídas de emergência é determinado em função da população do recinto ou pavimento considerado, para permitir vazão adequada e evitar um demora excessiva no tempo de abandono, o que aumentaria a probabilidade de exposição dos ocupantes aos perigos do incêndio. O mínimo de duas saídas alternativas é sempre recomendável.

Por princípio, qualquer compartimento deveria apresentar saídas alternativas de fuga, isto é, saídas que levem a duas ou mais rotas de fuga independentes entre si, considerando a possibilidade de uma delas sofrer algum tipo de obstrução ou ficar comprometida em decorrência do próprio incêndio.

Desta forma, duas ou mais saídas de um compartimento que levam a um mesmo corredor não são consideradas saídas alternativas de fuga e servem puramente para dar vazão a um número elevado de ocupantes do recinto. Saídas alternativas devem proporcionar o acesso a rotas de fuga distintas. No entanto, normalmente estas são exigidas apenas em ambientes com elevado número de pessoas ou de alto risco devido à atividade desenvolvida no local.

O edifício pode ter saídas alternativas tanto na composição horizontal como vertical das rotas de fuga, ou seja, tanto pode existir mais de uma saída por portas e corredores independentes entre si como também por mais de uma caixa de escadas.

3.1.3 Distribuição / Localização das saídas

As saídas também devem se apresentar bem distribuídas, nos compartimentos e nos pavimentos, para permitir melhor distribuição dos ocupantes e, conseqüentemente, maior vazão em cada saída.

Saídas muito próximas entre si geram concentração de pessoas e, eventualmente, maiores congestionamentos que devem ser evitados. Para tanto, normalmente, as regulamentações prescritivas determinam uma distância mínima entre

duas saídas de um mesmo compartimento (portas) como de pavimento (escadas e rampas).

Por outro lado, existem também limitações, dadas nas regulamentações prescritivas, de distâncias máximas a serem percorridas até uma saída segura, pois, distâncias excessivas também aumentam a probabilidade de exposição dos ocupantes aos perigos do incêndio. Estas distâncias podem variar em função do tipo de uso e ocupação do local, novamente considerando os riscos de incêndio e suas conseqüências, assim como as características da população ocupante.

Existe a tendência de se permitir maiores distâncias a percorrer em função da existência de sistema de chuveiros automáticos para proteção da edificação. Isso se deve ao conceito de que a sua instalação pode detectar e controlar um princípio de incêndio, proporcionando, assim, maior tempo para abandono, quando comparada a uma situação sem este meio de supressão automática e, portanto, permitindo que maiores distâncias sejam percorridas sem prejuízo aos ocupantes.

3.1.4 Tipos de proteção das saídas

Para garantir a saída segura dos ocupantes de um edifício, em situação de incêndio, além de proporcionar rotas de fuga com dimensionamento suficiente para uma vazão adequada, por vezes é necessário considerar a adoção de medidas de proteção das rotas de fuga.

Em edifícios de pequeno porte, com pouca área construída e/ou pouca altura ou baixa densidade populacional, somente a existência e manutenção de rotas de fuga, devidamente dimensionadas pode ser suficiente para que a população abandone rapidamente o local e atinja uma área segura, fora da edificação.

No entanto, ao considerar a complexidade cada vez maior das atividades desenvolvidas e a grande concentração de ocupantes em edifícios de maior porte, verifica-se que o tempo para abandono total da edificação pode ser elevado, aumentando a probabilidade de exposição dos ocupantes aos perigos do incêndio. Nestes casos, torna-se necessária a adequação de parte das rotas de fuga, de forma que

se proporcione um local protegido, mesmo que por um determinado tempo, ainda no interior da edificação, antes de atingir um local definitivamente seguro no seu exterior.

Assim, surgem rotas horizontais e verticais protegidas, normalmente constituídas de corredores e escadas providas de meios passivos e ativos de proteção contra incêndios. Dentre estes meios é possível citar:

- Medidas de proteção passivas:
 - Paredes, pisos e tetos/forros resistentes ao fogo (corredores, escadas e antecâmaras);
 - Portas corta-fogo;
 - Portas corta-fumaça;
 - Dutos e aberturas de ventilação / exaustão natural
 - Sistema de sinalização de emergência;
 - Controle dos materiais de acabamento e revestimento.
- Medidas de proteção ativas:
 - Dispositivos de fechamento automático de portas de escadas e corredores, por meio do acionamento do sistema de detecção automática de incêndio;
 - Sistema de exaustão de fumaça de corredores;
 - Sistema de pressurização de escadas;
 - Sistemas de detecção e alarme de incêndio;
 - Sistema de comunicação de emergência;
 - Sistema de iluminação de emergência.

Apesar das medidas passivas e ativas, combinadas, poderem conformar áreas de proteção temporárias aos ocupantes das edificações, diminuindo o risco de exposição aos perigos do incêndio ainda no interior da edificação, ressalta-se que estas áreas são projetadas dentro de limites de desempenho que não garantem uma segurança absoluta e definitiva. Essa última pode ser atingida, a princípio, somente quando o ocupante deixa a edificação.

3.1.5 Tempo para evacuação

Admitindo-se que os ocupantes deverão realizar o movimento de deslocamento para abandonar o edifício numa situação de emergência, é necessário considerar o tempo admissível para o abandono, que deve ser sempre inferior ao *tempo disponível para o abandono*. O tempo disponível para abandono é o limite de tempo em que o parâmetro de segurança à vida é atingido (por exemplo, o tempo em que a fumaça atinge altura perigosa nas rotas de fuga).

Também é necessário considerar que o tempo para abandono não se restringe puramente ao tempo de deslocamento dos ocupantes a partir de qualquer ponto do edifício até um local seguro. O tempo necessário para abandono é resultante de uma somatória de tempos parciais que recebem várias nomenclaturas como, por exemplo, a adotada pelo SFPE Handbook of Fire Protection Engineering (DINENNO et al., 2002, p. 3-347), a saber:

- a) Período de tempo entre a ignição (início do incêndio) e a detecção do incêndio;
- b) Período de tempo entre a detecção e o alarme do incêndio;
- c) Período de tempo (de atraso) entre o alarme e o início do abandono, subdividido em:
 - d) Tempo para percepção;
 - e) Tempo para interpretação
 - f) Tempo para ação; e
 - g) Período de tempo para o deslocamento propriamente dito.

O tempo para evacuação, nestes termos, se configura como o período de tempo entre a detecção e o início do abandono (itens “b” a “f”).

A distribuição destes períodos de tempo é apresentada na Figura 3.1.

Figura 3.1 – Tempo para abandono.

Fonte: DiNenno et al.(2002,p. 3-347), tradução nossa.

Independentemente da nomenclatura ou subdivisão adotados por vários documentos técnicos que tratam do assunto, o conceito é o mesmo. Destaca-se que, na maioria das vezes, o tempo de deslocamento pode não constituir o maior dos tempos parciais entre os considerados. Pelo contrário, os demais tempos parciais, anteriores ao deslocamento, podem ser maiores e a sua somatória pode resultar na demora do início do movimento de deslocamento e esta sim, ser fatal.

Tanto o tempo para a detecção do incêndio como de seu alarme dependem das características da ocupação do local, assim como da existência ou não de sistemas eficazes de detecção e alarme de incêndios. Se o local de ocorrência do incêndio é permanentemente monitorado, a detecção será imediata. Porém, caso seja um local sem ocupação humana e desprovido de sistema de detecção automática de incêndio, é possível que o incêndio cresça sem controle até que sinais sejam percebidos em ambientes adjacentes, já numa fase avançada de desenvolvimento do fogo.

Mesmo havendo a detecção rápida do incêndio, se não houver uma forma eficaz de alarme, ou seja, da comunicação da emergência, pode haver uma demora no alerta aos ocupantes, principalmente para aqueles localizados nos demais ambientes e que não têm contato visual com o fenômeno. As formas de alarme podem variar, tornando-se mais complexas, proporcionalmente à escala da edificação e à densidade populacional. Sistemas mais simples dependem da ação direta do homem para o seu rápido acionamento (dispositivos de alarme manual -botoeira- com transmissão por sirene ou alto-falante). Sistemas mais complexos possuem dispositivos que podem

acionar o alarme independentemente da vontade humana (alarmes automáticos por sirene ou alto-falante, acionados por sistemas de detecção automática).

Numa situação extrema, porém, pode não ocorrer o alarme, seja pela falta de presença humana no local, seja pela inexistência de um sistema de alarme ou, ainda, pela falha do mesmo. Nestas situações, os ocupantes tomam conhecimento da ocorrência da situação de emergência por sinais ou pistas relacionadas ao fenômeno do incêndio (presença de fumaça, calor ou estalos/ ruídos gerados pela combustão) ou à reação das pessoas (movimento anormal das pessoas (agitação), som da sirene de veículos do corpo de bombeiros, etc.).

Em todas as situações é necessário o treinamento e gerenciamento adequados que garantam o rápido início do movimento do abandono. Quanto maior for o tempo entre a detecção e o alarme do incêndio, menor a probabilidade dos ocupantes saírem sem sofrerem exposição aos efeitos do incêndio.

Entretanto, é importante ressaltar que normalmente existe um intervalo de tempo entre o alarme e o início do movimento de abandono das pessoas. Isto é, as pessoas levam certo tempo para perceber ou reconhecer o alarme. Ao primeiro som do alarme, muitos vão tentar interpretar o significado deste, obter informações adicionais (saber se é alarme falso, o que está ocorrendo e onde, etc.) ou simplesmente ignorar (sentimento de negação). Após alguma forma de confirmação ou de orientação recebida, as pessoas ainda podem querer realizar alguma ação, relacionada ou não com a atividade desenvolvida por ela no local (desligar máquinas, ligar para colegas ou familiares, ajudar ou orientar pessoas, etc.) para, finalmente, iniciar o movimento de abandono.

O tempo para atingir um local seguro é constituído do tempo de deslocamento das pessoas e de espera, no caso de haver acúmulo próximo às saídas. No entanto, caso as saídas de emergência tenham sido dimensionadas e projetadas adequadamente, este tempo de deslocamento não deveria ser significativo, comparado aos demais tempos discutidos anteriormente.

Desta forma, volta-se a destacar a importância de um sistema de segurança contra incêndio concebido de forma integrada ao projeto da edificação e também considerando o gerenciamento do uso e da manutenção da edificação, para que se garanta o bom desempenho do sistema como um todo. O projeto de saídas de emergência é essencial, mas não assegura, por si só, a segurança dos ocupantes de uma edificação. Esta dependerá de um bom projeto de segurança contra incêndio que: dificulte a ocorrência de um início de incêndio; detecte e controle rapidamente um princípio de incêndio; dê um alarme para abandono, caso este seja necessário; e contenha um incêndio numa menor área possível. Além disso, o gerenciamento da segurança da edificação deve promover ações para diminuir a probabilidade de ocorrência de um incêndio, assim como para garantir que as pessoas respondam rapidamente e abandonem o edifício de forma ordenada e com segurança.

3.2 O processo de abandono do edifício alto ao longo do tempo

Após a apresentação e os comentários sobre os componentes das saídas de emergência, em geral, volta-se para o caso particular das saídas em edifícios elevados, considerando suas particularidades, quando couber.

Ao se projetar a segurança contra incêndio em edifícios altos, é importante considerar a estratégia de abandono a ser adotada, pois esta deve nortear todo o sistema de proteção contra incêndio a ser proposto. Além disso, quanto mais alto o edifício, maior será a dificuldade para retirar rapidamente as pessoas numa situação de emergência e, portanto, melhor deve ser o sistema de proteção provido para assegurar a vida dos ocupantes no seu interior.

A princípio, o processo de abandono de edificações segue a seguinte seqüência:

- **Saída do compartimento:** os ocupantes devem se deslocar horizontalmente para uma das saídas do compartimento, em direção a um corredor ou outro compartimento adjacente que leve a uma saída de pavimento, por exemplo;
- **Saída do pavimento:** os ocupantes, ao sair dos respectivos compartimentos, devem se deslocar horizontalmente até uma das saídas de pavimento (acesso a uma saída vertical);

- **Saídas verticais:** os ocupantes devem adentrar um dos compartimentos de deslocamento vertical, que pode ser uma escada, uma rampa ou até um elevador, dentre os principais meios desta natureza e descer até atingir o pavimento de descarga;
- **Saída no pavimento de descarga:** os ocupantes que atingem o pavimento de descarga do edifício devem se deslocar horizontalmente até o exterior da edificação;
- **Saída para local seguro:** os ocupantes devem se deslocar horizontalmente até encontrar seu ponto de encontro em local seguro, afastado da edificação.

A seqüência descrita acima deve ser garantida em qualquer tipo de edificação, sendo que em edifícios altos, ela ainda deve ser provida de meios de proteção adicionais para que as pessoas não sejam expostas aos efeitos do incêndio.

No entanto, o dimensionamento adequado das saídas de emergência que garanta a retirada de todos, rápida e simultaneamente, por meio do processo descrito acima pode tornar o projeto do edifício alto inviável. A grande quantidade e largura das saídas verticais, principalmente, se tornam gargalos para este tipo de projeto, mas, por outro lado, o poder público não pode abrir mão de exigir as condições mínimas de segurança para os cidadãos que vão ocupar esses edifícios.

Para resolver este impasse, passou-se a assumir algumas premissas para o projeto de edifícios altos. Tais premissas estão diretamente relacionadas às estratégias de abandono desses edifícios e, normalmente, são determinadas pela autoridade local (poder público), ao longo do processo de aprovação do projeto.

3.2.1 Estratégias tradicionais de abandono

Essencialmente, existem três grandes estratégias de abandono de edifícios altos, a saber:

- Abandono simultâneo de todos os recintos/espços do edifício inteiro, ou, simplesmente “Total e Simultâneo”;

- Abandono em etapas (faseado) dos recintos/espacos, do edifício inteiro ou de partes dele;
- Proteção no local.

A norma NFPA 101 (COTÉ; HARRINGTON, 2009) define “evacuação total” como a situação onde “todos ou a maioria substancial dos ocupantes deixa um edifício ou instalação de forma ordenada ou não”.

3.2.1.1 Abandono Total e Simultâneo

Como já comentado, o abandono total e simultâneo muitas vezes inviabiliza, economicamente, o projeto de edifícios altos, pois resulta em dimensões elevadas para as saídas, a fim de dar vazão, ao mesmo tempo, à população de todos os pavimentos e setores para fora da edificação, dentro de um dado tempo aceitável. Por outro lado, o dimensionamento economicamente viável das saídas de um edifício elevado resultará num tempo excessivo para abandono do edifício, que poderá comprometer a segurança dos seus ocupantes. Neste último caso, estudos mostram que (PAULS; JONES, 1980), no abandono simultâneo e total de edifícios de múltiplos pavimentos, os maiores prejudicados são os ocupantes do piso de origem do incêndio e dos imediatamente adjacentes, uma vez que, havendo ocupação intensa do interior das caixas de escada por pessoas de todos os pisos, será dificultada a entrada rápida da população dos pisos em maior risco.

3.2.1.2 Abandono Em Etapas

Para contornar o problema, sem inviabilizar a construção de edifícios altos¹⁴, passou-se a considerar a adoção do abandono em etapas, ou seja, de forma não simultânea de todos os pavimentos, e que poderá ser parcial ou total. Esta estratégia, ainda que garanta o abandono do edifício por todos os ocupantes, permite que o movimento seja realizado em etapas ao longo do tempo, dando prioridade ao abandono dos pavimentos com maior probabilidade de comprometimento, ou seja, o pavimento

¹⁴ É necessário lembrar que tais questões foram motivos de estudos e discussões e implementados por meio de regulamentações nos países desenvolvidos. A situação não é a mesma para as regulamentações vigentes no nosso país, conforme será demonstrado no capítulo 6 desta tese.

de origem do incêndio e aqueles adjacentes. Os demais pisos podem ser abandonados, posteriormente, caso a situação se agrave. Caso contrário, pode não haver a necessidade de abandono de todos os pisos da edificação.

No entanto, esta estratégia é delicada e complexa, pois se torna vital determinar, rapidamente, a localização do pavimento do incêndio para, então, o sistema de gerenciamento de emergências orientar o abandono dos pavimentos pertinentes, assim como avisar ocupantes dos demais pisos para que permaneçam no local, até segunda ordem. Há, também, a necessidade de monitorar a situação de emergência para determinar o abandono de pavimentos adicionais ou não.

Esta estratégia de abandono em etapas pode ainda ser subdividida em “evacuação” e “realocação (relocation)”, segundo Craighead (1996). Para este autor, a “evacuação”, por definição, significa “deixar o edifício” e a “realocação”, “mover para uma área de relativa segurança dentro do edifício”.

No caso da “realocação”, a estratégia de abandono considera que as pessoas que são retiradas daqueles pavimentos em risco são realocadas para outros pavimentos seguros, mais afastados na própria edificação. Tal estratégia pouparia o deslocamento inicial dos ocupantes desses pavimentos para dezenas de pavimentos para baixo, até o piso de descarga.

Craighead (1996) ainda dá dois exemplos de estratégias levemente distintas, determinadas por autoridades locais norte-americanas. Na cidade de Nova Iorque, para edifícios altos, a autoridade local exige que se considere, em caso de incêndio, o abandono do pavimento de origem do incêndio e de pavimentos imediatamente superiores. Já, na cidade de Los Angeles, a autoridade local exige que 5 pavimentos sejam abandonados: o pavimento de origem do incêndio, os dois pavimentos acima e os dois pavimentos abaixo. Os dois pavimentos abaixo são destinados, nestas situações, para as equipes do corpo de bombeiros desenvolverem suas atividades táticas para combate ao fogo. Neste caso, os ocupantes deverão ser realocados para, pelo menos, três pavimentos abaixo daquele de origem do incêndio. Ainda, se o incêndio se iniciar no 6º pavimento ou abaixo, determina-se a evacuação total de todos esses pavimentos inferiores, conduzindo os ocupantes para fora da edificação.

Egan (1978) também faz referência ao abandono parcial, porém, com outra estratégia que envolve a evacuação tanto dos ocupantes do piso de origem do incêndio como do piso imediatamente inferior para dois ou mais pavimentos abaixo, e o deslocamento dos ocupantes do piso imediatamente superior ao pavimento de origem do incêndio para dois ou mais pavimentos para cima. Desta forma, a realocação se daria no sentido de se afastar do pavimento de origem, para cima e para baixo do mesmo.

Por outro lado, a norma NFPA 101, define a evacuação parcial como aquela em que “uma parte de um edifício ou instalação é desocupada enquanto os ocupantes de outras partes, em sua maioria, continuam desenvolvendo suas atividades normais” (COTÉ; HARRINGTON, 2009, p.60). As duas outras nomenclaturas para esta estratégia de evacuação são “evacuação faseada (phased evacuation)” ou “evacuação em etapas (staged evacuation)”. Adicionalmente, esta mesma norma esclarece que pode haver três situações distintas para este tipo de evacuação: a) “realocação” no mesmo pavimento; b) “realocação” para outros pavimentos; e c) evacuação dos ocupantes de alguns pavimentos para fora da edificação.

Tanto a realocação para uma área no mesmo pavimento como para outros pavimentos requer a provisão de sistemas de proteção (ativas e passivas) contra incêndio que garantam a segurança destes locais, assim como a controle rápido e eficaz do incêndio.

A realocação para outros pavimentos e a evacuação para fora da edificação tem como premissa a habilidade dos ocupantes em se deslocar e realizar o movimento de abandono sem assistência. No entanto, existe a probabilidade de existir ocupantes sem condições físicas de realizar o abandono eficiente por meio das escadas. Nestes casos, em que se incluem as pessoas com dificuldade de locomoção, alternativas devem ser consideradas. Uma delas é incluir a possibilidade de “realocação no mesmo pavimento”, ou seja, a realocação para um local no próprio pavimento onde é possível permanecer temporariamente (área protegida), até que a situação seja controlada ou até que seja possível realizar o deslocamento vertical com assistência. Tal área normalmente é localizada no interior de uma antecâmara de escada ou elevador de emergência ou patamar de escadas protegidas.

3.2.1.3 Proteção no local

Uma terceira alternativa que também tem sido considerada como estratégia de abandono para edifícios, é o que os norte-americanos denominam “defend-in-place” ou “protect-in-place” (COTÉ; HARRINGTON, 2009), ou seja, a defesa ou proteção no próprio local, sem a necessidade de evacuação. Tal estratégia é usualmente recomendada para situações onde parte considerável da população do edifício é composta de pessoas que não pode ser removida rápida e facilmente, numa situação de emergência. Incluem-se, nestas condições os ocupantes, por exemplo, dos estabelecimentos de apoio à saúde (hospitais, clínicas e asilos geriátricos) e também de estabelecimentos prisionais. Nestes casos, o projeto de segurança contra incêndio deve prever o mínimo de deslocamento possível, adotando a permanência no local como princípio para algumas situações extremas (Unidades de Terapia Intensiva, salas de recuperação pós-operatório, etc.) e a estratégia de abandono parcial com a realocação no mesmo pavimento (áreas de refúgio) para outras (áreas de internação). Tal estratégia requer um aparato ainda mais sofisticado de proteção e gerenciamento, para garantir seu bom funcionamento e a segurança dos ocupantes envolvidos. Assim, a priori, tal estratégia não tem sido usualmente adotada para edifícios altos de escritórios.

3.2.2 Novas estratégias de abandono

O atentado terrorista, de 11 de Setembro de 2001, ao complexo de edifícios do World Trade Center, na cidade de Nova Iorque, causou um grande impacto para cidadãos do mundo todo. Mas, o choque foi ainda maior para a comunidade envolvida com a segurança contra incêndio, incluindo legisladores, bombeiros, seguradoras, profissionais engenheiros e arquitetos e pesquisadores da área. O incêndio e o colapso das torres gêmeas tiveram como uma das conseqüências a necessidade de repensar a questão das estratégias de abandono de edifícios altos.

Mesmo que a possibilidade de colapso estrutural seja remota, com o aprimoramento das medidas de proteção, passa a ser mais difícil gerenciar e controlar o movimento de abandono parcial, pois os ocupantes podem reagir mal a uma ordem de espera, no processo do abandono, seja num caso de incêndio ou de ameaça de atentado. No caso do World Trade Center de Nova Iorque, em 2001, foram constatados

vários casos de pessoas que obedeceram à ordem de aguardar, conforme determinava o procedimento padrão. A ordem de abandono nunca chegou para muitos ou chegou tardiamente, por problemas de comunicação (DWYER; FLYNN, 2005; NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY, 2005) e pode ter influenciado no tempo de abandono do edifício de muitos de seus ocupantes.

Além disso, percebeu-se que outros tipos de ocorrência também poderiam requerer o abandono total e simultâneo da edificação, como a ameaça de bomba ou uma contaminação do ar por agentes nocivos (acidental ou não).

Assim, a partir deste incidente, a comunidade envolvida com a segurança contra incêndio vem discutindo, intensamente, a revisão das soluções para saídas de emergência vigentes e a proposição de alternativas que aumentem o nível de segurança às pessoas. Isto significa, na prática, meios que garantam que os ocupantes possam sair rapidamente e com maior segurança dos edifícios altos.

Em especial, vale destacar a iniciativa de discussão do tema em eventos específicos como o *“Workshop on Building Occupant Movement During Fire Emergencies”* (PEACOCK; KULIGOWSKI, 2005), organizado pelo National Institute of Standards and Technology (NIST) e o *“Workshop on Use of Elevators in Fires and Other Emergencies”*, pelo American Society of Mechanical Engineers (ASME), ambos no ano de 2004, nos EUA. Nos anais de outros eventos como os 7º e o 8º Congressos Mundiais do *Council on Tall Buildings and Urban Habitat* (CTBUH) (COUNCIL ON TALL BUILDINGS AND URBAN HABITAT WORLD CONGRESS, 2005, 2008) ocorridos, respectivamente, nas cidades de Nova Iorque e Dubai, também foi possível encontrar várias apresentações sobre este tema.

Nos EUA, o relatório final do National Institute of Standards and Technology (NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY, 2005), sobre a investigação do desastre do complexo do World Trade Center resultou na proposição de recomendações tanto de aprimoramento de exigências de regulamentações como de normas técnicas, assim como de procedimentos de gerenciamento de situações de emergência em edifícios altos.

Bukowski (2009) e Pauls (2005) também apresentam uma reflexão interessante a respeito do projeto de saídas de emergência em edifícios altos como um todo e destacam alguns fatores que devem ser considerados nos projetos futuros, tais como:

- Altura cada vez mais desafiadora: não se pode ignorar que os edifícios estão cada vez mais altos e isto significa que estão abrigando uma população cada vez maior;
- Perfil populacional em transformação: a população está cada vez mais obesa (maior e mais pesada) e também mais velha (com menos resistência física). Ambos os fatores influenciam na mobilidade das pessoas, principalmente na locomoção por escadas;
- Evacuação de pessoas com deficiência: há uma crescente demanda no sentido de atender igualmente as necessidades das pessoas com deficiência em situação de emergência;
- Domínio de novas tecnologias: inovações tecnológicas podem auxiliar a vencer os novos desafios.

A seguir, serão apresentadas, algumas das novas propostas a serem incorporadas nas estratégias de abandono, considerando as questões discutidas acima.

3.2.2.1 Elevadores

Bukowski (2009) lembra que a possibilidade do uso de elevadores como meio de fuga é uma discussão antiga, encontrada inclusive nos anais do 18º Encontro Anual da NFPA (1914 apud BUKOWSKI, 2009, p. 4) e também no relatório do National Bureau of Standards (atual NIST) em 1935 (NATIONAL BUREAU STANDARDS, 1935). No entanto, dúvidas de ordem operacional e técnica vinham desestimulando o seu uso.

Em épocas mais recentes, com a crescente altura dos edifícios elevados no mundo, o elevador de emergência passou a ser um item de segurança obrigatório, exigido para uso dos corpos de bombeiros, com o intuito de facilitar o acesso do socorro aos pavimentos mais elevados com rapidez e segurança. Para tanto, o acesso a esses elevadores deve ser por uma área protegida/ compartimentada em cada piso

(antecâmaras), normalmente, compartilhando o acesso a uma caixa de escada protegida e uma alimentação elétrica independente do equipamento deve ser garantida. Além disso, o elevador deve ter controle manual pelo seu interior, a partir do momento que um membro do corpo de bombeiros passe a utilizá-lo numa emergência. No entanto, este elevador é normalmente instalado em número reduzido, não passando de um equipamento, na maioria dos casos, e seu uso é feito de modo seletivo e restrito após a chegada do corpo de bombeiros.

Nos últimos 5 ou 6 anos, considerações sobre o uso do elevador para abandono de grande quantidade de pessoas têm sido feitas e grupos de estudos têm sido criados para o aperfeiçoamento deste tema. Segundo o guia de orientação publicado pelo CTBUH (COUNCIL ON TALL BUILDINGS AND URBAN HABITAT, 2004), o uso misto de elevadores e escadas é uma forma mais eficiente de esvaziar um edifício alto rapidamente. Este guia distingue o uso de elevadores para abandono total, parcial/faseado ou seletivo e também para o caso de incêndio e de outras emergências.

Para casos de incêndio, tanto para o abandono total como parcial, o guia recomenda a instalação do elevador em área protegida com portas corta-fumaça.

Para casos que não envolvem incêndio, como atentados ou outras ameaças, o guia recomenda o uso de todos os elevadores comuns para retirada de pessoas.

Para o abandono seletivo, isto é, somente de pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida, a recomendação é que o elevador e a escada se voltem para uma antecâmara protegida (compartimentada e pressurizada) e acessada por meio de portas corta-fogo.

Em todas as situações, é necessário definir uma série de requisitos de segurança que garantam o bom funcionamento do sistema, tanto de ordem técnica (proteção dos equipamentos, redundâncias, etc.) como de ordem operacional (procedimentos de operação /evacuação para cada situação), conforme afirma Solomon (2008).

Os elevadores para uso de bombeiros em edifícios altos também devem ser garantidos, pois estes poupam as equipes de socorro de subirem, a pé, no contra-fluxo e carregando dezenas de quilos de equipamentos, as escadas para aproximação ao

pavimento atingido pelo incêndio (Figura 3.2). Além disso, ocupantes que necessitam de assistência podem ser resgatados pelas equipes de socorro por este tipo de elevador, que pode fazer parte dos elevadores para abandono seletivo. Isto porque, se todo o sistema for eficaz, grande parte dos ocupantes terá deixado a edificação no momento da chegada dos bombeiros.

Figura 3.2 – Passagem de bombeiros no contrafluxo durante a evacuação de uma das torres gêmeas do WTC, em 11 /09/2001.

(Fotos feitas por ocupante do WTC antes do colapso dos edifícios. Imagens obtidas na internet, sem referência).

Nos EUA, o International Code Council (ICC) aprovou, em sua revisão do código de obras modelo de 2008, a inclusão do elevador como meio de evacuação, conforme recomendação do National Institute of Standards and Technology (2005) ¹⁵.

3.2.2.2 Pavimentos de refúgio

Outro conceito difundido nas últimas décadas é o da instalação dos pavimentos de refúgio. Neste caso, aproveita-se da necessidade de instalação de casa de máquinas intermediárias de equipamentos de apoio ao edifício (elevadores, ar-condicionado, bombas de água fria, etc.) para estabelecer os pavimentos de refúgio, a cada 20, 25 ou 30 pavimentos.

Conceitualmente, faz parte da estratégia de abandono parcial com realocação dos ocupantes para pavimentos remotos e protegidos do incêndio. O objetivo é

¹⁵ <http://www.facilitiesnet.com/elevators/article/ICC-NFPA-Add-Code-Provisions-For-Evacuation-Elevators--10076>

proporcionar aos ocupantes uma área de refúgio para descanso temporário, em sua caminhada descendente pelas escadas ou para trocar de caixa de escadas, quando necessário. Também pode ser uma área para acomodar as pessoas com deficiência, com parada obrigatória dos elevadores de emergência.

3.2.2.3 Pontes (Sky-bridges)

A adoção de pontes de interligação entre torres como parte da estratégia de proporcionar alternativa de fuga nas alturas é cogitada e discutida por Pauls (2005) e Oldfield (2005). Estes autores citam alguns dos projetos propostos para a área deixada pelas torres gêmeas do World Trade Center em Nova Iorque que apresentaram as interligações entre torres como propostas arquitetônicas integradas à intenção de utilizá-las como rotas alternativas de abandono.

No entanto, Bukowski (2009) lembra dos problemas enfrentados na utilização da ponte de interligação do Petronas Towers, em Kuala Lumpur, Malásia, numa evacuação real provocada por uma ameaça de bomba, em 2001, quando a ponte ficou congestionada com pessoas tentando cruzar de uma torre para outra, nas duas direções.

Desta forma, as pontes podem ser interessantes meios de circulação horizontal entre torres elevadas e serem consideradas rotas alternativas de fuga, oferecendo mais uma redundância para o projeto de saídas de emergência, caso sejam devidamente incorporadas ao projeto com tal função e incluídas num efetivo sistema de gerenciamento de emergências durante o uso.

É necessário lembrar que um sistema adequado de proteção deve existir para o uso seguro deste elemento, assim como um projeto de gerenciamento de emergências que inclui treinamento de pessoal, sistema de comunicação e monitoramento de abandono.

3.2.2.4 Maior número ou largura de escadas

Bukowski (2009), Pauls (2005) e National Institute of Standards and Technology (2005) discutem, adicionalmente, a necessidade de revisar os atuais critérios de dimensionamento de saídas de emergência, que são praticamente os mesmos, há muitas décadas.

Aumentar o número mínimo de escadas, para aumentar a redundância no sistema é uma das propostas. Além de possibilitar o aumento de fluxo de pessoas, com mais uma caixa de escadas num abandono total de emergência sem incêndio, a proposta proporcionaria melhores condições de abandono, mesmo com uma das caixas de escada completamente comprometida, ou seja, sem condições de uso numa situação de incêndio. A segunda proposta é aumentar a largura mínima das escadas, considerando o aumento médio nas dimensões antropométricas do homem (norte-americano).

Estas propostas trouxeram resistência de vários grupos e entidades norte-americanas que viam certo exagero nas medidas, assim como um custo adicional significativo, com a diminuição da área útil nos pavimentos de edifícios altos, conforme artigo publicado no New York Times¹⁶. No entanto, nos EUA, o International Code Council (ICC) aprovou, em 2008¹⁷, dentre outras medidas, a inclusão de uma escada adicional para edifícios acima de 126m (420 pés) assim como um aumento de 50% na largura das escadas em edifícios novos, dentre outras recomendações¹⁸ apresentadas com base no relatório do National Institute of Standards and Technology (2005).

3.2.2.5 Dispositivos móveis

Dispositivos móveis para retirada de pessoas em casos de emergência têm sido desenvolvidos em várias partes do mundo, principalmente para reforçar a segurança contra incêndio dos ocupantes em edifícios existentes nos últimos trinta anos. Nestes casos, normalmente, os dispositivos são adotados em edificações onde não foi possível ou viável a instalação de saída alternativa de fuga (escadas fixas), nos moldes solicitados pelas regulamentações atuais.

No entanto, Shimshoni (2005) apresenta a aplicabilidade de alguns deles também para edifícios elevados existentes, dentre os quais as plataformas (platform devices), os

¹⁶ Lipton, Eric. "Agency fights building code born of 9/11", <http://www.nytimes.com/2008/09/08/Washington/08codes.html> (acessado em 09/10/2008).

¹⁷ <http://www.facilitiesnet.com/facilitiesmanagement/article/ICC-Approves-New-Code-Changes-Based-on-Recommendations-from-NIST-World-Trade-Center-Investigation--9850> (acessado em 04/03/2010).

¹⁸ Recommendations Following the Federal Building and Fire Investigation of the World Trade Center Disaster – ICC Code Change Proposals – Status as of February 25, 2008 (available at <http://wtc.nist.gov/NIBS/MMC/CodeChangeProposals.htm> (acessado em 31.03.2010)

escorregadores (chute devices) e os dispositivos de descida controlada (controlled descent devices). Apesar deste mesmo autor argumentar a favor da adoção destes dispositivos, pelas limitações existentes no uso de escadas e elevadores por pessoas com dificuldade de locomoção e pelo tempo excessivo que pode levar um abandono por escadas, é necessário considerar que estes dispositivos também apresentam fatores desfavoráveis a seu uso, como a pequena quantidade de pessoas que poderá ter acesso aos mesmos por vez, as dificuldades em garantir suas condições de uso, operação e manutenção (baixa confiabilidade), dentre outros.

As questões técnicas para viabilizar o uso destes dispositivos com segurança estão sendo discutidas e especificadas por órgãos normalizadores como a *American Standards and Testing Materials* (ASTM), que estabeleceu o Subcomitê para Dispositivos de Evacuação Externa em Edifícios Altos (*Subcommittee E06.77 on High-Rise Building External Evacuation Devices*) dentro do seu Comitê em Desempenho das Edificações (E06) em 2004¹⁹. Estes são motivo de consideração também da NFPA, por meio de seu Comitê Técnico em Meios de Escape (*Technical Committee on Means of Egress*), que vem discutindo e desenvolvendo uma linguagem para reconhecimento de certos dispositivos e sistemas como de “evacuação suplementar”, além de definir critérios para sua seleção e implementação (Shimshoni, 2005).

¹⁹ http://www.astm.org/SNEWS/FEBRUARY_2005/evac_feb05.html (acessado em 31.03.2010).

4 ORIGENS E TENDÊNCIAS DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE SAÍDAS PARA EDIFÍCIOS ALTOS

4.1 Breve Histórico

Bryan (2002), assim como Proulx (2002) e Bukowski (2009) apresentam dados históricos sobre o dimensionamento de rotas de fuga, explicando a origem dos principais valores de larguras de saídas e respectivos fluxos de pessoas, alguns dos quais persistem até hoje, assim como as normas, regulamentações e outros documentos que foram estabelecidos a partir do início do Século XX, principalmente nos EUA, além de estudos desenvolvidos neste período.

Bukowski e Kuligowski (2004) comentam que a cidade de Nova Iorque é uma das primeiras a adotar exigências de escadas de emergência em sua regulamentação para segurança ao fogo do público, em 1860. Bukowski (2009) lembra que nos anais do Encontro Anual do *National Fire Protection Association* de 1913, o Comitê de Resistência ao fogo (*Committee on Fire Proof*) já incluía, entre as suas recomendações, a largura mínima de 44 polegadas (110 cm) para as escadas de emergência (incluindo os corrimãos que poderiam ocupar até 3,5 polegadas de cada lado). Neste mesmo ano, formou-se o Comitê para Segurança à Vida (*Committee on Safety to Life*) do NFPA, que teve como missão inicial a condução de um levantamento das questões de segurança contra incêndios existentes em regulamentos e códigos de várias cidades norte-americanas. Este Comitê concluiu, nos anais do encontro do ano seguinte do *National Fire Protection Association* (1914²⁰ apud BUKOWSKI, 2009, p.7), que a maioria das regulamentações e códigos existentes é deficiente no que se refere à questão das saídas de emergência.

Apesar da apresentação de várias recomendações sobre projeto e dimensionamento de saídas pelo referido Comitê, em 1914, com o intuito de sua incorporação nas regulamentações existentes, a própria NFPA só publicou sua primeira

²⁰ ANNUAL MEETING OF THE NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 18., 1914, Boston. **Proceedings...** Boston: NFPA, 1914.

versão de um código abrangente sobre o assunto em 1927, com o título de *Building Exit Code* (NFPA 101-T).

Outro documento importante, publicado nos EUA sobre o assunto, em 1935, é o relatório do National Bureau of Standards (NBS, atual NIST) intitulado *Design and Construction of Buildings Exits*. Este relatório, citado tanto por Bukowski (2009) como por Proulx (2002), é um documento que inclui dados sobre as dimensões de saídas e suas configurações arquitetônicas em plantas, levantadas em oito cidades norte-americanas, além de dados sobre densidades ocupacionais, tanto em edifícios (população por piso) como de fluxo de pessoas em terminais de trem e em simulados de saída em edifícios federais (escritórios). No entanto, segundo Proulx (2002, p. 3-343), este relatório deve ser lido com cuidado, pois:

“...descreve as deliberações do comitê (que o elaborou); no entanto, às vezes é incorretamente considerado um documento resultante de pesquisa científica. Por conter uma mistura de prática tradicional com estudos empíricos, o relatório frequentemente é mal interpretado, no que se refere a aspectos qualitativos e quantitativos do uso de saída por multidões; ...” (tradução nossa).

Dentre os estudos de fluxos de grande número de pessoas, em locais como estações e terminais de transporte público, podem ser citados aqueles realizados para o projeto do Edifício Terminal de Hudson (Hudson Terminal Building) de 1909 em Nova Iorque (BRYAN, 2002), posteriormente demolido para dar lugar ao World Trade Center, e o do London Transport Board (1958 apud BRYAN, 2002) no Reino Unido.

Outros estudos e relatórios que influenciaram no dimensionamento de saídas de emergência foram surgindo ao longo do século XX, principalmente no período pós-guerra, dos quais não se pode deixar de citar o relatório britânico sobre o assunto intitulado *Post-War Building Studies, No. 29, Fire Grading of Buildings, Part III Personal Safety*, de 1952 (BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT, 1992), o relatório japonês de Togawa (1955²¹ apud PROULX, 2002, p. 3-343), os trabalhos de Pauls (1974²², apud

²¹ TOGAWA, K. **Report No.14**. Tokyo: Building Research Institute, 1955.

²² PAULS, J.L. Building evacuation and other fire safety measures: Some research results and their application to building design, operation, and regulation. In, CARSON, D.H. (Ed.), **Man-Environment**

BUKOWSKI, 2009, p.9), no Canadá e de Fruin (1987) nos EUA, além do estudo de Predtechenskii e Milinskii (1978), na Rússia.

Segundo Proulx (2002), o relatório britânico de 1952 (BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT, 1992), acaba por consolidar os 2,5 minutos como tempo para o abandono até um local seguro, com base no tempo de abandono bem sucedido no incêndio de um teatro (Empire Palace Theatre) em Edimburgo, Escócia, em 1911.

Togawa (1976²³ apud BUKOWSKI, 2009, p.8) conduziu pesquisas durante as décadas de 1940 e 1950 de onde concluiu que a taxa de fluxo diminui significativamente em densidades superiores a 1 pessoa/m², dado esse confirmado posteriormente nos trabalhos de Pauls (1980) e de Predtechenskii; Milinskii (1978).

Fruin (1987) e Pauls (1980) discutiram e confirmaram o conceito de largura efetiva das escadas, considerando que as pessoas tendem a manter certa distância das paredes e dos corrimãos, como meio de auto-proteção.

Togawa (1955 apud PROULX, 2002) também é um dos primeiros a definir uma equação do “tempo necessário para abandono” como:

“[...] levando em consideração o tempo de fluxo num dado componente de saída somado ao tempo necessário para deslocamento de certa distância no sistema de saídas [...]”, Proulx (2002, pg. 3-343). (tradução nossa).

Ainda sobre os trabalhos mencionados acima, Proulx (2002) faz uma série de críticas interessantes, que alerta sobre o uso dos dados obtidos empiricamente ou de fontes diversas, a saber:

O relatório não publicado [London Transport Board] circulou, foi referenciado e aplicado de forma errônea por pessoas que multiplicaram os seus defeitos, dentre eles a falha em distinguir entre valores máximos e médios de fluxo. Novamente, assim como outros documentos largamente referenciados anteriormente e não lidos de forma crítica, este levou à determinação de alguns

Interactions: Evaluations and Applications – The state of the art in Environmental Design Research (EDRA 5) Part 4, p. 147-168, 1974.

²³ TOGAWA, K. Study on fire escapes basing on the observations of multitude current. In: **U.S./ Japan Government Cooperative Program on Natural Resources (UJNR) Panel on Fire Research and Safety**, Vol. 2, Human Behaviour: Tokyo, Building Research Institute, p.1-3, 1976.

cálculos de abandono muito otimistas. Há outros problemas inerentes, como a aplicação de dados de uma população específica no contexto do transporte para o contexto da evacuação por rotas (não familiares), tais como as saídas por escadas. Cuidados nestes termos também devem ser tomados, quando da aplicação de alguns dos trabalhos de Togawa (1955) e Fruin (1987). (Proulx, 2002, pg. 3-343) (tradução nossa).

Os estudos sobre saídas de emergência assim como de comportamento humano em situação de incêndio, tanto segundo opinião de Bryan (2002) como de Proulx (2002), se tornaram mais numerosos e frequentes a partir do início da década de 1990, comprovados pelo número significativo de artigos publicados na área assim como pela frequência de realização de eventos científicos específicos.

Historicamente, verifica-se que o foco maior no dimensionamento de saídas é a definição da largura mínima das saídas verticais. Isto se justifica, ao se considerar que a escada é o elemento mais restritivo no fluxo de saída das pessoas em edifícios de múltiplos pavimentos. Também é possível verificar que uma análise de requisitos de regulamentações prescritivas nem sempre possuem uma fundamentação clara e objetiva.

Por outro lado, a dificuldade em obter dados representativos de velocidade e fluxo é evidente, pois além do incêndio não ser um evento de alta frequência, o seu desenvolvimento sofre influências de inúmeras variáveis (local do início do incêndio, tipo de sistema de detecção de alarme, tipo de uso e ocupação, horário do evento, características da edificação, etc.) que torna quase impossível enquadrar os casos de incêndios em “padrões” e obter dados com qualidade e em quantidade suficientes para determinar parâmetros universais de dimensionamento de saídas de emergência.

Desta forma, são utilizados dados de outras fontes, como movimento de pessoas em locais congestionados e de grande fluxo (por exemplo, estações e terminais de transbordo), assim como dados de treinamentos de simulação de abandono de edifícios. Em particular, a obtenção de dados de ocorrências reais de incêndio em edifícios altos é muito difícil (rara e de alto custo - emocional e econômico), e passam a compor estudos de caso específicos, como os dois atentados às torres gêmeas do World Trade Center de Nova Iorque, em 1993 e 2001.

4.2 As estratégias de abandono e sua relação com largura mínima das saídas

Segundo Bukowski (2009), os anais do Encontro Anual da NFPA de 1914 destacam, como resultado de um levantamento das regulamentações existentes, uma referência às seguintes exigências da lei do Departamento de Trabalho (*Department of Labor*) do Estado de Nova Iorque:

- a. *“Para edifícios a serem construídos, uma largura mínima de 22 polegadas será exigida para escadas para não mais que 14 pessoas em cada piso.*
- b. *Os edifícios já construídos, este valor é reduzido para 18 polegadas, no mínimo.*
- c. *Uma escada de 44 polegadas em edifícios novos permite que 28 pessoas sejam acomodadas em cada pavimento acima do primeiro.*
- d. *Ao chegar a esta decisão, a idéia é que todas as pessoas de todos os pavimentos devem ter condições de permanecer na torre de escadas sem qualquer movimento e uma pessoa necessita de aproximadamente 22 polegadas de largura e deve ocupar espaço correspondente a 2 degraus.”* (BUKOWSKI, 2009, p.5) (tradução nossa).

O valor de 22 polegadas (55 cm) passou a ser considerado um módulo de unidade de saída e a largura mínima das saídas deveria ser constituída de, no mínimo, 2 unidades de 22 polegadas, ou seja, 110 cm. Estes valores de unidade de saída e largura mínima de escadas foram amplamente adotados pelos códigos e regulamentações nos EUA, com a publicação da primeira versão do *Building Exits Code* (NFPA 101-T), precursora do *Life Safety Code* da NFPA, em 1927. Verifica-se, também, na transcrição acima, a origem da abordagem do dimensionamento da largura das escadas pelo método da capacidade, onde, para cada unidade de saída, estimava-se a acomodação de 14 pessoas no interior da escada.

O relatório do National Bureau of Standards (1935), em seu capítulo V, aborda os métodos de cálculo da largura de saídas, onde descreve os cinco métodos encontrados no levantamento realizado nos EUA, naquela ocasião. O Quadro 4.1 apresenta uma síntese do que é apresentado no referido relatório.

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS

ROSARIA ONO

Método	Conceito	Cálculo	Considerações
Capacidade	As escadas devem ter dimensões suficientes para que os ocupantes de cada pavimento se acomodem no seu interior, na altura e área correspondente ao seu pavimento, sem a necessidade de qualquer movimento no interior da escada.	Determina-se a área ocupada por pessoa na escada e dimensiona-se a escada em função da população total a ser abrigada.	As escadas resultantes reduzem a área útil do edifício significativamente. Algumas autoridades afirmam que as pessoas não vão permanecer inertes, mesmo em edifícios altos. Algumas regulamentações permitem a redução desta área, compensando com a instalação de chuveiros automáticos ou compartimentação horizontal.
Fluxo	Admite-se uma taxa de fluxo de pessoas no interior da escada e associa-se um tempo máximo para abandono do edifício.	Usualmente, os documentos assumem a taxa de fluxo de 45 pessoas por minuto por unidade de passagem de 22 polegadas (55cm) para escadas e de 60 pessoas, para portas.	Este método resulta em escadas de dimensões significativamente menores do que no método da capacidade. No entanto, há restrições de uso em edifícios altos, pois não se pode assumir que todos os ocupantes podem manter um fluxo descendente e contínuo por longo período de tempo. É viável para alguns tipos de uso específico e altura baixa a moderada.
Combinado	Reconhece a necessidade de relacionar características dos edifícios como altura, sistema construtivo, tipos de abertura, riscos inerentes ao uso, etc. no cálculo.	Tenta corrigir os defeitos dos dois métodos anteriores, aplicando o método do fluxo para edifícios baixos e aumentando a ênfase no método da capacidade para edifícios altos. A fórmula considera fatores relativos a altura, sistema construtivo, aberturas, etc.	Os pesos atribuídos aos fatores são empíricos e os resultados alcançados nunca foram satisfatórios nem para os defensores do método. Prevê um acréscimo constante da largura das escadas em função de sua altura, chegando a proporções questionáveis em edifícios altos.
Probabilidade	Introduz um limite de número de pavimentos que deverão ser evacuados simultaneamente. Assume que não será necessário o abandono de todos os pavimentos de forma simultânea.	Calcula o número de escadas com duas unidades de saída de 22 polegadas cada, considerando a divisão da população por um valor arbitrário que varia com o tipo de ocupação (densidade), contando que, no máximo, os 6 pavimentos mais populosos devem ser considerados.	Há dúvidas quanto à consideração do número absoluto (seis) de pavimentos para qualquer situação. O método se utiliza de premissas não aceitas por algumas autoridades, como o peso da influência do tipo de sistema construtivo. No caso de edifícios baixos de grande área, os resultados são excessivamente insuficientes e, portanto, questionáveis.
Área de pavimento	Relaciona a área do pavimento com o número de unidades de saída em função do tipo de construção e uso. Como no caso do método da probabilidade, o abandono simultâneo não é considerado como premissa.	É um método tabular que relaciona uma série de áreas de pavimento com o número de unidades de saída de escadas correspondente.	A interpretação é fácil e fornece valores de números de escada que não são tão exagerados. No entanto, não há nenhuma relação consistente entre a população e as escadas que devem acomodá-la. O incremento em função da altura do edifício é tão pequena que deixa dúvidas sobre sua efetividade para edifícios altos.

Quadro 4.1 - Métodos de cálculo da largura de saídas – Síntese

Fonte: National Bureau of Standards (1935).

Ao seu final, o relatório é inconclusivo em relação ao método mais adequado de dimensionamento, mas sugere que a necessidade para a grande maioria dos edifícios pode ser atendida pela provisão de duas escadas com largura mínima correspondente a duas unidades de saída, como segue:

“Em vista de todas as incertezas envolvidas no problema, métodos complicados e refinamentos de detalhes parecem escassamente justificáveis. Primariamente, pode ser que a necessidade de mais de 95% de todos os edifícios sejam cobertos por um requisito mínimo de duas escadas. Talvez, com base na população contida no edifício, esta proporção deva aumentar, mas a necessidade de ir além de duas escadas padrão com duas unidades de saída cada não deve

surgir em edifícios em geral.” (NATIONAL BUREAU OF STANDARDS, 1935, p. 42)
(tradução nossa).

O relatório também faz considerações para o dimensionamento das escadas em edifícios onde a população predominante tenha perfil específico, como enfermos e idosos (dificuldade de locomoção) ou onde pessoas se encontram relaxadas ou mesmo dormindo. No caso específico de edifícios onde as pessoas estão acordadas e alertas, o relatório faz a seguinte análise:

“Aqui, a grande necessidade de evacuação e o rápido alarme deverão acontecer naturalmente no piso onde o incêndio ocorre. Os demais pavimentos podem não ser envolvidos em nenhum momento ou, se o forem, não ocorrerá tão cedo por causa da resistência ao fogo do edifício, particularmente dos shafts e das escadas compartimentadas. No pavimento onde o fogo se inicia pode se desenvolver o pânico, mas isto dificilmente vai se estender para todos os pavimentos do edifício de uma só vez. Este parece ser um campo razoável para o uso do método da probabilidade. De fato, ao reexaminar os principais métodos de provisão de saídas, nós achamos que este método é o mais reconhecido. Alguns fazem uma redução drástica e direta, enquanto outros o fazem de forma indireta e parcial, com adoções extremamente liberais nas dimensões das escadas onde os chuveiros automáticos estão presentes. O resultado final em todos os casos é a provisão de menor espaço de escadas do que seria necessário para o uso simultâneo por todos os pavimentos.

Se essa premissa é aceita, e isto parece ser necessário, caso contrário uma grande área deve ser alocada para as escadas a ponto de tornar o edifício de utilidade discutível, a questão que surge é de quanto deveria ser a redução a ser feita, ou em outras palavras, qual o número de pavimentos que necessita ser acomodado de uma vez.” (NATIONAL BUREAU OF STANDARDS, 1935, p. 43)
(tradução nossa).

Ao final do Capítulo V, o relatório traz uma série de análises sobre o material disponível e coloca como sendo uma premissa razoável que a população da metade dos pavimentos acima do térreo de edifícios altos seja considerada para acomodação nas escadas, ao invés dos seis pavimentos, independentemente do número total de pavimentos.

Porém, ao final do relatório, em seu Apêndice, o Comitê que o elaborou apresenta uma sugestão de código de saídas de emergência que não segue nenhum dos métodos de dimensionamento levantados e apresentados no seu Capítulo V.

O Apêndice apresenta como proposta de dimensionamento uma combinação do método de capacidade com o método da área de piso para determinar o valor agregado por tipo de uso, considerando o mínimo de duas saídas com duas unidades de saída cada. Nenhuma indicação de tempo para abandono, associado ao tempo de resistência ao fogo e nenhuma menção ao método da probabilidade, no que se refere ao abandono prioritário de alguns pavimentos, é feita, apesar de ambos serem contemplados nas discussões contidas no Capítulo V do relatório, conforme visto anteriormente.

Segundo Bukowski (2009), as recomendações contidas neste Apêndice do relatório do NBS são consistentes com aquelas contidas na edição de 1927 do *Building Exit Code* (NFPA 101-T) e isto não o surpreende, uma vez que os membros do comitê do NBS eram os mesmos que elaboraram o código da NFPA. Desta forma, os códigos nos EUA passaram a adotar estas recomendações até que mudanças passassem a ocorrer em meados da década de 1980.

4.3 Largura mínima de saída

O conceito de largura mínima de saída, introduzido no final do século XIX nos EUA, como já visto anteriormente, determinava que a largura mínima de saídas (corredores e escadas) correspondesse a duas unidades de saída de 22 polegadas (560mm), totalizando o mínimo de 1120 mm. Com a revisão do Life Safety Code (documento NFPA 101) na década de 1980, a forma de cálculo da largura total foi alterada, no entanto, o valor mínimo de 1120 mm foi mantido.

Os 560mm são uma medida da largura que considera a distância entre os dois ombros em sua parte mais larga de uma pessoa “padrão”. No entanto, vários autores, como Pauls (1980²⁴ apud NELSON; MOWRER, 2002, p.3-367), sugerem dimensões maiores, considerando que as pessoas balançam o corpo para os lados durante o movimento descendente em escadas e que necessitam de um espaço pessoal de proteção (a bolha) tanto lateral como frontal e posterior (FRUIN, 1987; PREDTECHENSKII; MILINSKII, 1978).

²⁴ PAULS, J.L. Effective-width model for evacuation flow in buildings. In: Engineering Application Workshop. Boston. **Proceedings...** Boston: Society of Fire Protection Engineers, 1980.

Pauls (1980)²⁵ apud NELSON; MOWRER, 2002, p. 3-368) introduziu a definição de largura mínima efetiva, complementarmente à da largura mínima nominal. Para uma largura nominal mínima de 44 polegadas (1120 mm) com corrimãos instalados de ambos os lados, a largura efetiva seria de 32 polegadas (820mm) – vide Figura 4.1. Na largura efetiva, este autor considera a redução causada pela instalação de objetos nas laterais e pelo movimento lateral do corpo ao descer os degraus, concluindo que se perde, neste caso, uma largura de 150 mm de cada lado. O corrimão somente é considerado na redução da largura efetiva quando estiver afastado mais de 2,5 polegadas (63,5 mm) da parede (distância medida do seu eixo).

Figura 4.1 – Medida da largura efetiva (L_e) de escada em relação a paredes e corrimãos.

Fonte: Nelson; Mowrer (2002, p.3-369), tradução nossa.

Pauls (1980) conclui que a largura nominal de 1120 mm não permite a passagem de duas pessoas lado a lado nas escadas, conforme ilustrado na Figura 4.2. É importante notar ainda, nesta figura, a ausência de corrimãos numa das laterais da escada.

²⁵ Ibidem, p.3-368.

Figura 4.2 – Arranjo de pessoas num teste de fluxo máximo numa escada de 1120 mm de largura.

Fonte: Pauls (1980, p. 252).

Para outras situações, o mesmo autor apresenta os valores de largura a serem subtraídos da largura nominal, para se obter a largura efetiva (L_e) das rotas de fuga (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Largura da borda de elementos nas rotas de fuga

Elementos na Rota de Fuga	Redução de largura na borda do elemento considerado, em relação à rota (cm)
Escadas – com ou sem paredes	15
Corrimãos	9*
Poltronas de teatros Cadeiras e bancos em estádios	0
Paredes de corredores e rampas	20
Obstáculos (objetos)	10
Passagens largas, de interligação	46
Portas e arcos	15

(*) Adotar este valor se o corrimão contribuir para diminuição da largura efetiva (L_e).

Fonte: Nelson; Mowrer (2002, p. 3-369), tradução nossa.

Fruin (1987) discute as características humanas relacionadas ao projeto para pedestres e apresenta a elipse do corpo de 24 polegadas (0,61m), medida ombro a ombro, por 18 polegadas (0,46m) de profundidade (frente-costas), conforme pode ser

visto na Figura 4.3 a seguir. Admite-se, a priori, que em projeção horizontal, o homem “padrão” ocupa uma área de $0,14\text{m}^2$, porém a elipse considerada tem área de projeção de $0,21\text{ m}^2$. Esta última medida se baseia em vários estudos realizados anteriormente, considerando não só as dimensões médias da população adulta masculina dos EUA como também, as dimensões necessárias para os pedestres carregarem objetos pessoais, suas preferências psicológicas naturais de evitar contato corporal com outras pessoas e o balanço do próprio corpo no caminhar. Além disso, o mesmo autor ainda ressalta que um homem caminhando necessita de pelo menos 1,5 polegadas (0,04m) de cada lado, equilavente ao balanço lateral de seu corpo ao caminhar e que esta, em situação de grande concentração, pode chegar a 4 polegadas (0,10m) (FRUIN, 1987, p.30).

Predtechenskii; Milinskii (1978) também sugerem incluir uma largura adicional para movimento das pessoas (balanço) no caminhar, de aproximadamente 10 centímetros para cada lado do ombro, conforme pode ser visto na Tabela 4.2.

Figura 4.3 – Elipse do corpo humano.
Fonte: Fruin (1987, p.20).

Tabela 4.2 - Dimensões médias de uma pessoa.

Faixa Etária	Vestimenta ou transportando volume	Largura (m)	Profundidade (m)	Área de projeção horizontal (elipse) (m ²)
Adulto	Vestimenta de verão	0,46	0,28	0,1
	Vestimenta de meia-estação (externo)	0,48	0,3	0,113
	Vestimenta de inverno (externo)	0,5	0,32	0,125
Jovem	-	0,43 – 0,38	0,27 – 0,22	0,09 – 0,067
Criança	-	0,34 – 0,3	0,21 – 0,17	0,056 – 0,04
Adulto	Com criança no colo	0,75	0,48	0,285
	Com bagagem nas mãos	0,9 – 1,1	0,75	0,35 – 0,825
	Com mochila carregada nas costas	0,5	0,8	0,315
	Com pacotes leves	0,75	0,4	0,235

Fonte: Predtechenskii; Milinskii (1978, p.26).

Templer (1994) realiza um amplo estudo sobre as escadas e apresenta a largura de escada para caminhamento de pessoas lado a lado, considerando o nível de mobilidade proporcionado. Ele conclui que a largura mínima nominal de saídas por escadas deveria ser de 142 cm para o caminhamento de duas pessoas lado a lado (largura mínima para movimento) e propõe como largura confortável para a mesma situação, a largura de 175 cm (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 – Fatores que afetam a largura da escada no caminhamento lado a lado, por pessoa.

Parâmetro	Confortável (50º percentil) (cm)	Mínima para movimento (cm)	Mínima parado/ início de movimento (cm)
Largura do ombro	43,2	43,2	43,2
Vestimenta pesada	3,8	3,8	3,8
Movimento dos braços	10,2	10,2	-
Deslocamento lateral	20,3	8,9	8,9
Afastamento da parede	5,1	5,1	5,1
Erro de percurso	5,1	-	-
Largura Final (Total)	87,6	71,2	61,0

Fonte: Templer (1994, p. 63).

4.4 Velocidades de caminamento e taxas de fluxo

A velocidade de caminamento das pessoas, quando estas são consideradas individualmente, depende muito de suas características físicas, culturais, faixa etária e também do ambiente onde se encontram. Predtechenskii; Milinskii (1978), quando apresentam dos resultados de seus levantamentos de velocidades e fluxos enfatizam, inclusive, as diferenças de velocidade em função do tipo de vestimenta, pois pessoas pesadamente agasalhadas, no inverno, tendem a ter velocidade menor que pessoas com vestimentas leves.

Tanaka (2002) apresenta, a título ilustrativo, alguns parâmetros de velocidade de pessoas em várias situações na Tabela 4.4. Vale ressaltar que a menos de uma situação especificada, nas demais, as velocidades apresentadas são individuais, isto é, sem influência de aglomerados, congestionamentos, esperas, etc.:

Tabela 4.4 – Velocidade de movimento de pessoas em diferentes situações.

Método de deslocamento	Perfil do Indivíduo	Velocidade (m/s)
Andar	Pessoa que anda devagar	1,0
	Jovem estudante universitário	1,5
	Pedestre “padrão”	1,3
	Idosos	0,8
	Marcha militar	2,0
	Movimento em grupo (<1,5 pessoas/m ²)	1,0
	Água até os joelhos	0,7
	Água até a cintura	0,3
Correr	Recorde mundial de atletismo	10,0
	Jogador de beisebol	8,0
	Maratonista	5,4
	Pequena corrida	3,0
Rastejar	Com joelhos e mãos	0,4
	Com pés e mãos	0,5
Nadar	Recorde de Natação	1,7

Fonte: Tanaka (2002, p. 320).

No entanto, os estudos como de Fruin (1987) e de outros pesquisadores já mencionados neste capítulo, em situações não emergenciais, comprovam que a velocidade de caminamento sofre forte influência da densidade. Quanto menor a concentração de pessoas (pessoas/m²), maior a prevalência da velocidade individual de caminamento. Assim, quanto maior a concentração de pessoas, maior a prevalência da

velocidade do grupo de pessoas envolvidas que perdem sua “liberdade” de caminamento à velocidade desejada, até atingir um limite de densidade onde a velocidade passa a ser nula (congestionamento total). Exemplos da variação da velocidade e do fluxo em função da densidade são representados na Figura 4.4 e na Figura 4.5, respectivamente.

Figura 4.4 - Variação da velocidade em função da densidade

Fonte: Melinek e Booth (1975²⁶, apud COELHO, 1997, pg.2).

Figura 4.5 – Variação do fluxo específico de evacuação em função da densidade de ocupação.

Fonte: Melinek e Booth (1975, apud COELHO, 1997, p. 2), adaptado pela autora.

Alguns autores apresentam também dados sobre velocidades e fluxos específicos médios, adotados nos métodos de dimensionamento de saídas de emergência. Murosaki (1993), por exemplo, faz uma síntese dos dados que prevaleciam nos métodos de cálculo japoneses até a década de 1990, apresentados na

²⁶ MELINEK, S.J.; BOOTH, S. An analysis of evacuation times and the movement of crowds in buildings.(CP 96/75). London: Building Research Establishment, 1975.

Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Velocidades e fluxos médios adotados no Japão.

Autor	Situação		Capacidade de Movimento em Grupos de Pessoas			
			Velocidade (m/s)		Fluxo (pessoas/(m.s))	
			Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
Horiuchi e Togawa (1972) (1955)	A	Para pessoas com mobilidade reduzida	0,8	0,4	1,3	1,1
	B	Para pessoas sem familiaridade com o ambiente	1,0	0,5	1,5	1,3
	C	Para pessoas com familiaridade com o ambiente	1,3	0,6	1,6	1,4
Guia de Orientação de Projeto (1985)	A	Corredores e quartos de hospitais Locais de reunião de público de alta densidade	0,5	0,25	0,75	--
	B	Ocupações com população alta flutuante Corredores de uso comum	1,0	0,5	1,5	1,3
	C	Salas de escritórios e escolas	1,3			

Fonte: Mukosaki (1993, p. 134).

No período pós-Segunda Guerra até o início da década de 1980, vários estudos foram realizados, muitos tendo como referência os parâmetros apresentados no relatório do NBS (1935), que apresentava a taxa de fluxo de 45 pessoas por minuto por unidade de saída (escadas). Havia certa dúvida sobre esta taxa de fluxo, discutida no método de fluxo do relatório do NBS, sendo considerada alta. Togawa (1955 apud PROULX, 2002) apresentou dados que demonstravam que esta taxa de fluxo diminui consideravelmente com o aumento da densidade, principalmente acima de 1 pessoa/m², e sugere que a taxa de 26 pessoas por minuto por unidade de saída é mais adequada. Os resultados dos estudos de Pauls (1980) confirmam os dados de Kikuji Togawa no caso de densidades de escada e apresenta a taxa de fluxo de 27 pessoas por minuto por unidade de saída.

Ainda segundo Bukowski (2009), com base nos dados coletados pelo NIST na investigação do atentado ao World Trade Center, em 2001, calcula-se que a população de 7900 sobreviventes que desceu a Torre 1 entre o choque do avião e o colapso da

estrutura (tempo de 102 minutos), por três escadas (duas de 110 cm e uma de 140 cm), apresentou uma taxa de fluxo de descida de 13 pessoas por minuto por unidade de saída. Portanto, este valor corresponde à metade do valor anteriormente sugerido por J. Pauls e K. Togawa e menos de um terço do valor sugerido nos documentos do início do século XX.

É importante lembrar, novamente, que os valores obtidos na maioria das pesquisas sobre velocidade e fluxo de pessoas são oriundos de dados coletados em situações não emergenciais e, em algumas situações, em locais e espaços de características nem sempre similares às condições a serem adotadas para o projeto de saídas de emergência. Assim, o dado recuperado de depoimentos de sobreviventes, apesar de raro e de difícil coleta, é muito valioso para a reavaliação dos valores adotados nos métodos de dimensionamento de saídas.

A seguir, são apresentados e discutidos as relações entre velocidade, fluxo e densidade para o caso do caminhamento horizontal e vertical no interior das edificações. Além disso, verificar-se-á as questões relativas aos pontos de transição (passagem por portas, convergência de fluxo e divergências de fluxo) e seus efeitos.

4.4.1 Caminhamento horizontal por corredores

Autores como Togawa (1955²⁷ apud COELHO, 1997, p.5), Nakamura e Yoshioka (1975²⁸, apud COELHO, 1997, p.5), Predtechenskii (1978), Fruin (1987) e Nelson; Mowrer (2002) apresentaram expressões matemáticas que propõem as relações entre a velocidade e a densidade de pessoas, assim como entre o fluxo específico e a densidade, apresentadas no Quadro 4.2, onde:

- D = densidade (pessoas/m²); e
- V , V_N e V_E = velocidade (m/s).

²⁷ TOGAWA, K. **Report No.14**. Tokyo: Building Research Institute, 1955.

²⁸ NAKAMURA, K.; YOSHIOKA, M. **A simulation model of pedestrian flow and its investigation**. Report No 1. Tokyo: The Working Group on General Fuzzy Systems, 1975.

Autores	Expressões		
Togawa (1955 apud COELHO, 1997)	Para $D \leq 1 \rightarrow V = 1,3$	Para $D > 1 \rightarrow V = 1,3 \cdot D^{-0,8}$	
Nakamura; Yoshioka (1975 apud COELHO, 1997)	Para $D \leq 1 \rightarrow V = 1,243$	Para $D > 1 \rightarrow V = -0,26 + [(2,39/D) - 0,13]^{0,5}$	
Predtechenskii; Milinskii (1978) – Normal	Para $0 < D < 7,36 \rightarrow V_N = 0,000456.D^4 - 0,0124.D^3 + 0,113.D^2 - 0,452.D + 0,95$		
Predtechenskii; Milinskii (1978) – Emergência	Para $0 < D < 7,36 \rightarrow V_E = V_N \cdot (1,49 - 0,36.D)$		
Fruin (1987)	$V = 1,499 - 0,394.D$		
Nelson; Mowrer (2002)	Para $D < 0,54 \rightarrow V = 1,19$	Para $0,54 \leq D < 3,8 \rightarrow V = 1,40 - (0,372.D)$	Para $D \geq 3,8 \rightarrow V = 0$

Quadro 4.2 – Expressões matemáticas de diferentes autores para velocidade de caminhamento de pessoas na horizontal.

Dentre os autores mencionados, somente Predtechenskii; Milinskii (1978) apresentam uma expressão para representação da velocidade de caminhamento para situações de emergência.

Enquanto a expressão da velocidade em condições normais reflete a velocidade média de todos os dados obtidos pelos referidos autores, a expressão para situações de emergência foi assumida como o valor médio dos resultados acima das condições normais. A condição “confortável” de caminhamento apresentada por eles representa a média de todos os casos com resultados abaixo da condição normal. As curvas que representam essas 3 velocidades de caminhamento de Predtechenskii; Milinskii (1978) são apresentadas na Figura 4.6.

Também é importante notar que as expressões de Nelson; Mowrer (2002) são derivadas de expressões anteriormente deduzidas por Fruin (1987), Pauls (1980) e Predtechenskii; Milinskii (1978).

A representação gráfica das expressões apresentadas no Quadro 4.2 segue na Figura 4.7, onde é possível notar que para densidades menores existe uma faixa de dispersão maior entre alguns valores na curva obtida por meio de expressões de diferentes autores e, para densidades maiores, uma convergência mais acentuada, com exceção de Nelson; Mowrer (2002) que presume que a velocidade é nula a partir da densidade de 3,8 pessoas por m^2 .

Figura 4.6 - Velocidade de caminhada na horizontal em função da densidade para condições normais, de emergência e de conforto.

Fonte: Predtechenskii; Milinskii (1978, p. 41), adaptada pela autora.

Figura 4.7 – Representação gráfica das expressões de velocidade de caminhada horizontal.

O fluxo específico é o fluxo de pessoas num certo ponto da rota de fuga, por unidade de tempo e por unidade de largura da rota envolvida e é definido pela seguinte expressão:

$$F_e = D.V \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde:

- F_e = fluxo específico [pessoa/(s.m)];
- D = densidade (pessoas/m²); e
- V , V_N e V_E = velocidade (m/s).

A representação gráfica dos fluxos específicos das expressões apresentadas no Quadro 4.2 pode ser vista na Figura 4.8.

Figura 4.8 – Representação gráfica dos fluxos específicos em função da densidade de pessoas, de acordo com as expressões de diferentes autores para o caminhar horizontal.

Uma publicação do Ministério das Construções (1985, p.202) do Japão resume, após apresentar algumas expressões importantes, deduzidas por diferentes autores, que as principais são representadas pelas seguintes funções:

Função linear: $V = -aD + b$

Função exponencial: $V = aD^{-m}$

Função exponencial: $V = ae^{-np}$

Função inversa: $V = a/D$

Além disso, a referida publicação ainda conclui que a proximidade entre os valores reais e os medidos varia em função do tipo de população e das faixas de densidade consideradas, mas considera ser possível afirmar que a diferença de valores não é significativa na faixa de densidade entre 1,5 e 2,5 pessoas/m², utilizando qualquer uma das funções acima.

Nesse sentido, analisando-se a Figura 4.7, constata-se a grande concordância entre as correlações dos diversos autores na faixa de densidades entre 1,0 e 2,0 pessoas/m². Para situações com densidade menor do que 1,0 pessoas/m², Nelson; Togawa; e Nakamura & Yoshioka propõem que não há alteração da velocidade de caminamento em função do adensamento, indicando que as pessoas começam a se deslocar de forma mais “otimizada”, aproveitando espaços livres, sem perturbação na forma de deslocar-se. Os demais autores indicam uma relação contínua de redução de velocidade com o aumento de densidade. Para densidades acima de 3,5 pessoas/m²; Nelson e Fruin sugerem que há tal aglomeração de pessoas que não é mais possível haver deslocamento, situação não confirmada pelos demais autores que indicam a continuidade de movimento, porém com uma velocidade média de caminamento baixa, da ordem de 0,3 m/s.

Verifica-se, no gráfico de fluxos específicos (Figura 4.8), que essas diferenças apresentadas nos dados de velocidade não causam efeitos relevantes quando a densidade é relativamente baixa, até valores de 2,0 pessoas/m², sendo praticamente desprezíveis abaixo de 1,0 pessoa/m². A partir daí, as diferenças tornam-se acentuadas.

4.4.2 Caminhamento descendente por rampas

A circulação por rampas é pouco abordada nos estudos de movimento de abandono e, presume-se que isto se deve, essencialmente, a pouca frequência de uso deste tipo de elemento como rota de fuga nas edificações. Por sua vez, este baixo uso deve-se, provavelmente, às grandes áreas construídas que esta requer se comparada às escadas, assim como às grandes distâncias a percorrer resultantes. Rampas podem ser adotadas como rotas de fuga para algumas ocupações específicas, porém, para isso, devem ter objetivo claramente definido e justificado.

São poucos e imprecisos os dados disponíveis sobre o fluxo em rampas. Por exemplo, Proulx (2002, p. 3-364), cita que em rampas de inclinação “moderada” e uma largura de 122 cm permitiria um fluxo moderado de 1,33 pessoas/ segundo (ou seja, 1,09 pessoas/m/s). Nestas condições, a velocidade seria de aproximadamente 1,0 m/s e a densidade, de 1 pessoa/m². Coelho (1997, p. 7) afirma que “*existe uma pequena*

mudança de amplitude do passo” em rampas e para as *“pouco inclinadas”* em movimento descendente, a velocidade tende a aumentar em função da declividade até atingir uma velocidade máxima (para aproximadamente 7% de inclinação) e, a partir daí, a velocidade tende a diminuir. Porém, este último autor não fornece nenhum valor concreto de velocidade ou fluxo.

Nelson; Mowrer (2002) considera, por sua vez, que os valores de velocidade e fluxo em corredores, filas, rampas e portas são representados pela mesma expressão e os mesmos fatores de correção e só diferenciam estes, portanto, dos valores para escadas, conforme pode ser visto na Figura 4.6.

Tabela 4.6 – Velocidade e fluxo específico máximo.

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

Fonte: Nelson; Mowrer (2002, p. 3-370 e 3-371), adaptado pela autora.

Fruin (1987, p.41) só cita as dificuldades de movimento ascendente em rampas da seguinte forma: rampas com inclinação de até 5% não afetam a velocidade do caminhar; rampas com 5% a 10% de inclinação levam a um decréscimo de até 10% na velocidade ascendente; e rampas com 10% a 20% de inclinação podem levar a um decréscimo de até 25% na velocidade ascendente.

4.4.3 Circulação vertical por escadas

A circulação vertical por escadas deve considerar uma série de fatores para o seu adequado dimensionamento, visando ao seu uso com segurança, entre os quais:

- Relação entre altura e profundidade dos degraus;
- Valor mínimo e máximo de altura e profundidade para escadas de uso coletivo;
- Largura mínima da escada para uso coletivo;
- Número mínimo e máximo de degraus por lance de escada.

Os primeiros estudos sobre escadas de que se têm notícias é aquela produzida pelo arquiteto francês François Blondel, cuja preocupação principal era o conforto, mais do que a segurança e que observou várias escadarias existentes, principalmente de catedrais, que eram confortáveis e utilizadas por um grande número de pessoas. Blondel (1675²⁹ apud TEMPLER, 1994, p. 27) encontrou uma relação constante entre a altura do degrau e sua profundidade e a relacionou à largura da pisada humana, a saber:

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

Onde:

- X = altura do degrau; e
- Y= profundidade do degrau.

O valor desta soma varia em função da regulamentação que a adota, por questões de conversão de medidas ou até da variação antropométrica da população. Templer (1994), por exemplo, sugere, para os EUA, o valor máximo de 71 cm como sendo um valor mais “moderno”. Já a norma brasileira de saídas de emergências (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993) determina que esta faixa fique entre 63 e 64 cm.

Templer (1994) apresenta um dos mais extensos e detalhados estudos sobre escadas, com o enfoque principal na ocorrência de acidentes e suas conseqüências. Esse autor cita vários outros estudos surgidos ao longo dos últimos dois séculos, após a proposição de Blondel, e confirma que este último ainda mantém sua influência em incontáveis códigos e regulamentações em todo o mundo.

Além desta proporção de altura e largura dos degraus, dentre os elementos que afetam a segurança no uso das escadas estão, segundo Bukowski (2009):

- Iluminação (permite visualizar o início e o fim dos degraus da escada);

²⁹ Blondel, F. **Cours d'Architecture Enseigné dans l'Academie Royale d'Architecture**. Paris: Lambert Roulland, 1675.

- Rugosidade do piso (o piso com acabamento de maior atrito dá o caráter antiderrapante ao mesmo)
- Corrimãos (permitem que pessoas se apoiem para manter o equilíbrio no deslocamento e nas paradas);
- Guarda-corpos (impedem quedas de grande altura nos limites da escada com outros espaços abertos);
- Distinção dos degraus por cor contrastante (permite melhor visualização de cada degrau por pessoas de baixa visão).

Templer (1994) apresenta uma série de recomendações para projeto, execução e manutenção de escadas. Tais questões também são tratadas em regulamentações e normas de construção, de segurança contra incêndio e de acessibilidade, onde parâmetros são fornecidos para projetos.

Quanto à velocidade de caminamento em escada, distinguem-se as velocidades ascendentes das descendentes e dentre os pesquisadores que apresentam dados e deduzem expressões para sua representação estão vários daqueles já citados anteriormente neste capítulo. Algumas das expressões para movimento descendente em escadas são destacadas no Quadro 4.3, onde:

- D = densidade (pessoas/m²); e
- V_d , V_{dN} e V_{dE} = velocidade de descida (m/s).

As expressões apresentadas no Quadro 4.3 estão representadas graficamente na Figura 4.9.

As expressões de movimento vertical ascendente em escadas também são discutidas e deduzidas por vários autores, no entanto, não serão apresentadas nesta tese, uma vez que o objetivo principal é discutir as escadas como rotas de fuga descendente em edifícios altos.

Autores	Expressões		
Pauls (1980)	$V_d = 1,08 - 0,29D$ (valores para escadas de 1,30m de largura total, vestimenta pesada)		
Predtechenskii & Milinskii (1978) – Normal	Para $0 < D < 7,36$ $V_{dN} = [0,44 \cdot e^{-0,0431D} \cdot \sin(0,671D)] \cdot (0,000456 \cdot D^4 - 0,0124 \cdot D^3 + 0,113 \cdot D^2 - 0,452 \cdot D + 0,95)$		
Predtechenskii & Milinskii (1978) – Emergência	Para $0 < D < 7,36 \rightarrow V_{dE} = 1,21 \cdot V_{dN}$		
Fruin (1987)	$V_d = 0,6782 - 0,0884 \cdot D$		
Nelson & Mowrer(2002)	Para $D < 0,54 \rightarrow V_d = 1,0$	Para $0,54 \leq D < 3,8 \rightarrow V_d = 1,16 - (0,30856 \cdot D)$	Para $D \geq 3,8 \rightarrow V_d = 0$
Watanabe et al (1973 apud COELHO 1997)	Para $D \leq 1 \rightarrow V = 1,0$	Para $D > 1 \rightarrow V_d = 0,8 \cdot [-0,26 + (2,39/D - 0,13)^{0,5}]$	

Quadro 4.3 – Expressões matemáticas de diferentes autores para velocidade de caminhada de pessoas nas escadas, em movimento descendente.

A velocidade nas escadas tende a ser menor que em circulações horizontais (corredores), como se pode verificar comparando a Figura 4.9 com a Figura 4.7. No caso de Pauls (1980), as medidas foram coletadas especificamente para escadas de largura de 1,30 m. Predtechenskii; Milinskii (1978) introduzem um coeficiente empírico à expressão da velocidade horizontal e, para o caso da situação de emergência, acrescenta um fator de 21% na expressão da velocidade em situação normal. Já a expressão de Watanabe et al (1973³⁰, apud COELHO, 1997, p. 11) corresponde à expressão de velocidade horizontal de Nakamura; Yoshioka (1975 apud COELHO, 1997, p. 5) com uma redução de 20% quando a densidade é superior a 1 pessoa/m² e em 25% quando é igual ou inferior a 1 pessoa/m². A expressão de Nelson; Mowrer (2002) se refere a uma escada com 6,5 polegadas (16,51 cm) de altura de degrau e com 12 polegadas (30,48cm) de pisada. Em particular, as retas dadas pelas expressões de Pauls (1980) e Nelson; Mowrer (2002) são muito semelhantes. As curvas das expressões de Fruin (1987) e Predtechenskii; Milinskii (1978) também estão muito próximas entre si, enquanto a curva da expressão de Watanabe (1973 apud COELHO, 1997, p.11) tem coincidência nas densidades entre 1,0 e 2,5 pessoas/m² com a dos primeiros autores citados e de 2,5 pessoas/m² adiante, com demais autores.

³⁰ WATANABE, Y. et al. **Actions of firemen in smoke**. Report No.37, Tokyo: Fire Research Institute, 1973, p.15-20.

Figura 4.9 – Representação gráfica das expressões de velocidade descendente em escadas

A representação gráfica dos fluxos específicos das expressões apresentadas pode ser vista na Figura 4.10.

Figura 4.10 - Representação gráfica dos fluxos específicos em função da densidade de pessoas, de acordo com a expressões de diferentes autores para o caminhar descendente em escadas.

Verifica-se, tanto no gráfico de velocidades como de fluxos específicos, que os dados apresentam valores mais próximos quando a densidade é relativamente baixa,

até valores de 2,0 pessoas/m² e começam, a partir daí, a divergir, principalmente no caso de Pauls (1980) e Nelson; Mowrer (2002), que se distanciam do restante.

Dentre os autores das expressões apresentadas até aqui, somente Nelson; Mowrer (2002) consideraram, claramente, a influência da relação altura /piso dos degraus para cálculo da velocidade e do fluxo de pessoas em escadas (vide Tabela 4.7), onde também é apresentada esta relação, dada em ângulo (graus). Por outro lado, em Ministério das Construções do Japão (1985, pg. 202) são apresentados dados de pesquisas sobre o ângulo de inclinação da escada e sua relação com a velocidade descendente no Japão, de onde se concluiu que a inclinação tem pouca influência na faixa entre 26,5 e 30 graus (vide Figura 4.11).

Tabela 4.7 – Velocidades máximas em escadas.

Componente		Ângulo (em graus)	Velocidade máxima (m/s)
Espelho (altura em cm)	Piso (profundidade em cm)		
19,0	25,4	36,9	0,85
17,8	27,9	32,5	0,95
16,5	30,5	28,4	1,00
16,5	33,0	26,6	1,05

Fonte: Nelson; Mowrer (2002, p. 3-370), adaptado pela autora.

Figura 4.11 – Relação entre densidade e velocidade em movimento descendente em escadas, com variação na inclinação da escada.

Fonte: Ministério das Construções do Japão (1985, p. 202), tradução nossa.

Verifica-se a dificuldade em se concluir a adequação da relação entre inclinação da escada e velocidade no movimento descendente, uma vez que os valores apresentados consideram faixas distintas de análise.

4.4.4 Pontos de Transição

Pontos de transição em rotas de fuga, segundo Nelson; Mowrer (2002) são aqueles onde o caráter ou a dimensão da rota se altera. Exemplos típicos incluem:

- Qualquer ponto onde uma rota se alarga ou se estreita. A densidade e o fluxo específico são diferentes antes de chegar, durante e depois da passagem desse ponto. Um exemplo típico é uma variação na largura num corredor provocada por um móvel, como um balcão;
- O ponto onde o corredor encontra uma caixa de escadas enclausuradas. Existem duas transições neste caso: Uma quando o fluxo atravessa a porta (horizontal) e outra quando o fluxo entra na escada (vertical);
- O ponto onde duas ou mais rotas se encontram (fluxo convergente) ou se separam (fluxo divergente). O encontro do fluxo de um corredor secundário com um corredor principal (horizontal) ou o encontro do fluxo de entrada numa escada que já abriga um fluxo proveniente de outros pavimentos (horizontal/vertical) são exemplos de fluxos convergentes.

Exemplos de possibilidades de transição são apresentados na Figura 4.12.

Figura 4.12 – Exemplos de tipos de transição

Fonte: Predtchenskii; Milinskii (1978, p.50), adaptado pela autora.

Nelson; Mowrer (2002) apresentam o seguinte raciocínio para determinação das densidades e fluxos após a passagem de um ponto de transição:

1. O fluxo calculado (F_c) após um ponto de transição é função, dentro de certos limites, do fluxo na entrada deste ponto de transição;
2. O fluxo calculado (F_c) após o ponto de transição não pode ultrapassar o fluxo específico máximo ($F_{e\ max}$) para o elemento da rota envolvido multiplicado pela largura efetiva (L_e)

$$F_c < F_{e\ max} \cdot L_e \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

- F_e : fluxo específico (pessoas/m/s); e
- L_e : largura efetiva (m).

3. Quando o fluxo específico calculado para a(s) rota(s) deveria ultrapassar o fluxo específico máximo ($F_{e\ max}$) no ponto que deixa a transição, um congestionamento se forma antes da transição e o número de pessoas (N_p) neste ponto vai aumentar numa proporção igual ao fluxo calculado ($F_{c\ in}$) na entrada da transição menos o fluxo calculado que deixa da rota após a transição ($F_{c\ out}$).

$$N_p = f (F_{c \text{ in}} - F_{c \text{ out}}) \quad (\text{Equação 4})$$

4. Observe-se que mesmo onde o fluxo específico calculado de saída de um ponto de reunião de várias rotas é menor que o fluxo específico máximo ($F_{e \text{ max}}$), não há meios de predeterminar como as rotas que entram vão ter seus fluxos escoados. As rotas podem dividir o acesso no ponto de transição igualmente ou pode haver uma predominância de uma das rotas sobre a outra. Para cálculos conservadores, deve se assumir que a rota de interesse é dominada pelas outras rotas. Se todas as rotas são importantes, é necessário conduzir uma série de cálculos para estabelecer os limites de possibilidade de cada rota sobre condições de predominância.

Nota-se que, nestas situações, os cálculos passam a ficar complexos e quanto mais rotas de fuga são envolvidas, mais trabalhosa se torna a previsão de fluxos e a obtenção do tempo final de abandono.

Tanaka (2002) também apresenta o mesmo princípio adotado por Nelson; Mowrer (2002), porém, considerando duas alternativas para o fluxo calculado após a transição, conforme a sequência a seguir.

Dado que:

$$F_{c \text{ in}} = P / (C/V) \quad (\text{Equação 5});$$

Onde:

- $F_{c \text{ in}}$: Fluxo calculado na chegada ao ponto de transição (pessoas / s);
- P : População existente no ambiente (pessoas);
- C : comprimento do ambiente (m);
- V : velocidade média de caminamento da população (m/s).

Então:

$$F_{c \text{ out}} = F_{c \text{ in}} , \quad \text{se } F_{e \text{ max}} \cdot L_e > F_{c \text{ in}} \quad (\text{Equação 6})$$

Ou

$$F_{c\ out} = F_{e\ max} \cdot L_e, \quad \text{se } F_{e\ max} \cdot L_e \leq F_{c\ in}. \quad (\text{Equação 7})$$

Ou seja, o valor do Fluxo calculado de saída ($F_{c\ out}$) dependerá da relação do Fluxo calculado de entrada ($F_{c\ in}$) com o Fluxo específico máximo ($F_{e\ max}$), multiplicado pela largura efetiva da rota.

Já Predtechenskii; Milinskii (1978) partem do princípio de que nas transições os dados de densidade (D), velocidade (v) e largura da passagem considerada variam de modo que o fluxo calculado (F_c) se mantém constante ao longo de todo um percurso. Desta forma, mesmo na transição entre um trecho x e um trecho $x+1$ (vide Figura 4.13), o fluxo calculado (F_c) será o mesmo, ou seja:

$$F_{c\ (x)} = F_{c\ (x+1)} \quad (\text{Equação 8})$$

Onde

$$F_c = F_e \cdot L_e \quad (\text{Equação 9})$$

Então:

$$F_{e(x)} \cdot L_{e(x)} = F_{e(x+1)} \cdot L_{e(x+1)} \quad (\text{Equação 10})$$

Que pode ser representada também por:

$$D_{(x)} \cdot V_{(x)} \cdot L_{e(x)} = D_{(x+1)} \cdot V_{(x+1)} \cdot L_{e(x+1)} \quad (\text{Equação 11})$$

Predtechenskii; Milinskii (1978) apresentam, no Apêndice I de sua publicação, uma tabela com os dados tabulados e correspondentes entre velocidade, densidade e fluxo específico em função da situação do movimento (situação normal, de emergência ou de conforto), assim como do seu tipo (horizontal, por aberturas, escadas descendentes ou escadas ascendentes). Desta forma, conhecendo-se um dos dados de um dos ambientes envolvidos (densidade ou velocidade) é possível obter o fluxo específico deste ambiente. É necessário lembrar que a tabela fornece, para alguns casos,

densidades e velocidades diferentes para o mesmo fluxo específico. Neste caso, os autores recomendam adotar o valor de densidade mais baixa.

Tendo-se os valores de fluxo específico, $F_{e(x)}$, e das larguras envolvidas, $L_{e(x)}$ e $L_{e(x+1)}$, é possível obter o $F_{e(x+1)}$ e, por tabela, a densidade, $D_{(x+1)}$ e a velocidade $V_{(x+1)}$, pois:

$$F_{e(x+1)} = F_{e(x)} \cdot L_{e(x)} / L_{e(x+1)} \quad (\text{Equação 12})$$

Os mesmos autores ainda fazem considerações sobre a zona de transição (Figura 4.13) que se forma na mudança de largura, classificando em zona de transição divergente, quando a transição é de uma largura menor para outra maior, e a convergente, quando a transição é de uma largura maior para uma menor; e propõem uma equação para cada caso. A conclusão é que normalmente é necessário se atentar principalmente para zonas de transição convergente, pois a diminuição na largura pode aumentar o tamanho desta zona e torná-la significativa, o que geralmente não ocorre na transição divergente.

Figura 4.13 – Zonas de transição divergente (Δl_d) e convergente (Δl_c).

Fonte: Predtchenskii e Milinskii (1978, p. 53), tradução nossa.

As equações abaixo descrevem o fenômeno apresentado na Figura 4.13. Segundo os autores, observações têm demonstrado que na zona de divergência, o fluxo apresenta um movimento num ângulo de 30° e na de convergência, de 45° .

$$\Delta l_d = [L_{e(n+1)} - L_{e(n)}] / [2 \cdot \tan(30^\circ)] = 0,87 (L_{e(n+1)} - L_{e(n)}) \quad (\text{Equação 13})$$

Onde:

Δl_d : comprimento da zona de transição divergente (m)

e

$$\Delta l_c = [L_{e(n)} - L_{e(n+1)}] / [2 \cdot \tan(45^\circ)] = 0,5 (L_{e(n)} - L_{e(n+1)}) \quad (\text{Equação 14})$$

Onde:

Δl_c : comprimento da zona de transição convergente (m)

E o fluxo específico para a situação é dada por:

$$F_{e(\Delta l)} = F_{e(n)} \cdot L_e / L_{(\Delta l)} \quad (\text{Equação 15})$$

Onde

$$L_{(\Delta l)} = [L_{e(n)} + L_{e(n+1)}] / 2 \quad (\text{Equação 16})$$

Em relação à transição na convergência de dois ou mais fluxos (Figura 4.14), os mesmos autores adotam o mesmo princípio do fluxo calculado constante, onde a soma dos fluxos convergentes é igual ao fluxo final, pós-transição:

$$F_{c(x1)} + F_{c(x2)} + F_{c(x3)} = F_{c(x+1)} \quad (\text{Equação 17})$$

Ou

$$\sum F_{c(x)} = F_{c(n+1)} \quad (\text{Equação 18})$$

$$\sum F_{c(x)} = F_{e(n+1)} \cdot L_{e(n+1)} \quad (\text{Equação 19})$$

Portanto,

$$F_{e(n+1)} = \sum F_{c(x)} / L_{e(n+1)} \quad (\text{Equação 20})$$

Figura 4.14 – Desenho esquemático de 3 fluxos convergentes.

Fonte: Predtchenskii; Milinskii (1978, p. 56).

Conhecendo-se a densidade em cada rota convergente, obtém-se o respectivo fluxo específico e , por consequência, o respectivo fluxo calculado que somados, fornecem o fluxo específico final, $F_{c(n+1)}$, para obtenção da densidade, $D_{(n+1)}$ e da velocidade final, $V_{(n+1)}$.

Predtchenskii; Milinskii (1978, p. 69) também mencionam que quando o fluxo específico final, $F_{e(n+1)}$, ultrapassa o valor do fluxo específico máximo, ocorre o congestionamento.

Assim, verifica-se a grande influência dos pontos de transição no cálculo do tempo do abandono, seja na situação de fluxos convergindo para uma saída de ambiente (salas) seja na de saídas de pavimentos (portas de acesso a escadas). O dimensionamento de saídas é crucial para o bom desempenho das rotas de fuga em caso de emergência, havendo a necessidade tanto de avaliar o número de saídas como a largura de cada uma delas para evitar grandes congestionamentos que, consequentemente, aumentam o tempo para os ocupantes alcançarem um local seguro.

4.5 A velocidade de pessoas com deficiência

As pessoas com deficiência devem ter os mesmos direitos de abandono do edifício em caso de incêndio que as demais. No entanto, isto não significa, obrigatoriamente, que estas pessoas precisam utilizar as mesmas estratégias de abandono que todos os demais. Nem sempre isto é viável e, nestes casos, é necessário

recorrer a formas alternativas de fuga, porém com, no mínimo, o mesmo nível de segurança (alarmes visuais e sonoros, áreas de refúgio, elevadores de segurança, etc.).

No entanto, é importante conhecer parâmetros que possam embasar a adoção de estratégias seguras e o seu dimensionamento correto. Um vasto estudo realizado e publicado por pesquisadores da Universidade de Ulster (BOYCE; SHIELDS; SILCOCK, 1999a, 1999b, 1999c, 1999d) apresenta uma série de dados úteis sobre as características de mobilidade e velocidade de locomoção de pessoas com deficiência física e mental. Os principais dados de interesse são reproduzidos nas tabelas a seguir.

Tabela 4.8 – Velocidade em superfície horizontal.

Grupos de Pessoas (número)	Média (m/s)	Desvio padrão (m/s)	Faixa de velocidade (m/s)	Faixa interquartil (m/s)
Todos com deficiência (107)	1,00	0,42	0,10 – 1,77	0,71 – 1,28
Com dificuldade de locomoção (101)	0,80	0,37	0,10 – 1,68	0,57 – 1,02
Sem ajuda (52)	0,95	0,32	0,24 – 1,68	0,70 – 1,02
De muletas (6)	0,94	0,30	0,63 – 1,35	0,67 – 1,24
De bengala (33)	0,81	0,38	0,26 – 1,60	0,49 – 1,08
De andador (10)	0,57	0,29	0,10 – 1,02	0,34 – 0,83
Sem dificuldade de locomoção (6)	1,25	0,32	0,82 – 1,77	1,05 – 1,34
Em cadeira de rodas elétrica (2)	0,89	-	0,85-0,93	-
Em cadeira de rodas manual (12)	0,69	0,35	0,13 – 1,35	0,38 – 0,94
Em cadeira de rodas manual com assistência (16)	1,30	0,34	0,83 – 1,98	1,02 – 1,59
Ambulante com assistência (18)	0,78	0,34	0,21 – 1,40	0,58 – 0,92

Fonte: Boyce; Shields; Silcock (1999b), adaptada pela autora.

Verifica-se, na Tabela 4.8, que a velocidade média de deslocamento na horizontal de pessoas com dificuldade de locomoção (0,80 m/s) foi de 60% da velocidade de pessoas sem dificuldades (1,3 m/s), sendo que existem várias situações onde a velocidade média atingida foi ainda menor (de andador: 0,57 m/s), e neste estudo, chegou a 0,10 m/s para a pior situação (a pessoa mais lenta, de andador).

Tabela 4.9 - Velocidade ascendente e descendente em rampas.

Grupos de Pessoas (número)	Média (m/s)	Desvio padrão (m/s)	Faixa de velocidade (m/s)	Faixa interquartil (m/s)
Ascendente				
Total com deficiência (54)	0,62	0,28	0,21 – 0,32	0,42 – 0,74
Com dificuldade de locomoção (48)	0,59	0,26	0,21 – 1,08	0,42 – 0,72
Sem ajuda (19)	0,68	0,24	0,30 – 1,08	0,48 – 0,87
De muletas (4)	0,46	-	0,21 – 1,05	-
De bengala (20)	0,52	0,24	0,21 – 1,05	0,38 – 0,70
De andador (5)	0,35	-	0,30 – 0,42	-
Sem dificuldade de locomoção (6)	1,01	-	0,70 – 1,32	-
Descendente				
Todos (54)	0,60	0,30	0,10 – 1,83	0,42 – 0,70
Com dificuldade de locomoção (48)	0,58	0,25	0,10 – 1,22	0,42 – 0,70
Sem ajuda (19)	0,68	0,24	0,28 – 1,22	0,45 – 0,94
De muletas (4)	0,47	-	0,42 – 0,53	-
De bengala (20)	0,51	0,20	0,18 – 1,04	0,35 – 0,70
De andador (5)	0,36	-	0,10 – 0,52	-
Sem dificuldade de locomoção (6)	1,26	-	0,70 – 1,83	-

Fonte: Boyce; Shields; Silcock (1999b), adaptada pela autora.

Dos 69 participantes do experimento em rampas, 54 tinham capacidade de deslocamento sem assistência (vide Tabela 4.9) e 15 necessitavam de assistência. Destes últimos, 8 eram usuários de cadeiras de rodas e somente um deles apresentou condições de participar do experimento sem assistência.

A velocidade média dos participantes com mobilidade reduzida foi de aproximadamente metade da velocidade média dos participantes sem mobilidade reduzida nas rampas. Tanto a velocidade média ascendente como descendente em rampas foi inferior à velocidade na horizontal.

No deslocamento vertical (Tabela 4.10), a amostra foi menor, pois várias pessoas não tinham autonomia e condições para realizar um movimento seguro de descida ou subida de escadas. Mesmo dentre os que foram classificados como aptos a realizar o exercício, muitos apresentaram grandes dificuldades para vencer os degraus. Foi observado que mais de 35% dos participantes subiram as escadas, colocando um passo em cada degrau (um degrau por vez) e 44% desceram da mesma forma. Em geral, os participantes tinham mais confiança em subir os degraus do que descer: 91% utilizaram os corrimãos na subida e 94%, na descida.

Estes dados confirmam a dificuldade que as pessoas com deficiência física ou mobilidade reduzida têm, tanto na locomoção horizontal como vertical.

Tabela 4.10 – Velocidade ascendente e descendente em escadas.

Grupos de Pessoas (número)	Média (m/s)	Desvio padrão (m/s)	Faixa de velocidade (m/s)	Faixa interquartil (m/s)
Ascendente				
Com dificuldade de locomoção (30)	0,38	0,14	0,13 – 0,62	0,26 – 0,52
Sem ajuda (19)	0,43	0,13	0,14 – 0,62	0,35 – 0,55
De muletas (1)	0,22	-	0,13 – 0,31	0,26 – 0,45
De bengala (9)	0,35	0,11	0,18 – 0,49	-
De andador (1)	0,14	-	-	-
Sem dificuldade de locomoção (8)	0,70	0,24	0,55 – 0,82	0,55 – 0,78
Descendente				
Com dificuldade de locomoção (30)	0,33	0,16	0,11 – 0,70	0,22 – 0,45
Sem ajuda (19)	0,36	0,14	0,13 – 0,70	0,20 – 0,47
De muletas (1)	0,22	-	-	-
De bengala (9)	0,32	0,12	0,11 – 0,49	0,24 – 0,46
De andador (1)	0,16	-	-	-
Sem dificuldade de locomoção (8)	0,70	0,26	0,45 – 1,10	0,53 – 0,90

Fonte: Boyce; Shields; Silcock (1999b), adaptada pela autora.

Considerando a dificuldade maior no deslocamento vertical, de pessoas de vários graus de mobilidade reduzida, é certo que as rampas podem ser muito mais úteis, porém os fatores que desfavorecem o seu uso amplo já foram discutidos anteriormente neste capítulo.

Assim, vale enfatizar a importância de garantir acesso a áreas seguras no próprio pavimento e, para tanto, lembrar e considerar no projeto, quando cabível, que mesmo nos movimentos de deslocamento horizontal, parte considerável da população apresenta velocidade de caminamento inferior às pessoas sem mobilidade reduzida.

4.6 Tempo para passagem num certo ponto da rota

O tempo para passagem de uma população num certo ponto da rota (NELSON; MOWRER, 2002; TANAKA, 2002) é dada por:

$$t_p = P / F_c \quad (\text{Equação 21})$$

onde:

- t: tempo para passagem (s);
- P: população (pessoas); e

- F_c : fluxo calculado (pessoas/s).

Desta forma, é possível calcular o tempo necessário para uma população passar por certo ponto da rota de fuga, tendo em mãos dados de fluxo específico da população em questão e de largura efetiva da rota de fuga, considerando que o fluxo específico não ultrapassa o fluxo específico máximo ($F_{e\max}$).

4.7 O fator humano no dimensionamento

É importante ressaltar que os dados e estudos apresentados neste capítulo, têm como base o princípio do escoamento hidráulico para o cálculo do fluxo da população. Considera-se cada pessoa como uma partícula de líquido, com certas características físicas (largura, profundidade, velocidade, etc.) e que há as interações entre essas partículas dentro de um conduto, sem levar em conta os fatores do comportamento humano.

O comportamento humano em situação de incêndio é um campo de estudo relativamente novo, segundo Bryan (2002), um dos primeiros pesquisadores norte-americanos a atuar nesta área. O mesmo autor afirma que o interesse por esta área se iniciou nos Estados Unidos na década de 1950, com a coleta de informações de pessoas envolvidas no incidente de Arundel Park e apresenta uma interessante retrospectiva histórica do estudo do comportamento humano em incêndios centrado na sua evolução nos Estados Unidos e também cobrindo outros importantes movimentos no mundo.

A primeira publicação que reuniu importante literatura a respeito foi editada por Canter (1980), psicólogo ambiental e professor da Universidade de Surrey, no Reino Unido. Esta publicação reúne um seleto conjunto de artigos de pesquisadores na área de comportamento humano, não só de importantes instituições do Reino Unido, mas também dos EUA e Canadá, e foi resultado do primeiro Seminário Internacional sobre Comportamento Humano em Incêndios (*International Seminar on Human Behaviour in Fire*), realizado em 1977, somado à inclusão de alguns autores convidados e serviu para larga difusão do assunto. Muitos desses autores influenciaram gerações seguintes de pesquisadores em várias partes do mundo, no estudo das múltiplas interfaces do comportamento humano em situação de incêndio.

Canter (1980) argumenta que, desde o período pós-Segunda Guerra Mundial, houve um desenvolvimento da engenharia da segurança contra incêndio e de significativos aprimoramentos nas regulamentações correlatas, decorrente das ocorrências de incêndio com múltiplas mortes. No entanto, tais aprimoramentos muitas vezes não foram efetivos, pois os *“aspectos humanos das causas e do desenvolvimento dos incêndios”* não foram analisados e compreendidos no intuito de minimizar seus efeitos desastrosos. Desta forma, o autor defende que *“Os incêndios e seus efeitos adversos não podem ser compreendidos apenas por meio da engenharia”* (CANTER, 1980, p.3).

Grande parte dos estudos de comportamento humano tem como base a análise de casos de incêndios ocorridos, com o levantamento das reações das pessoas por meio de questionários e entrevistas com sobreviventes, assim como a investigação das situações que levaram à ocorrência das mortes. Segundo Bryan (2002), a metodologia para estas análises tem como precursor Woods (1980), que deu subsídios para trabalhos realizados até épocas recentes (PROULX; REID; CAVAN, 2004; PROULX; FAHY, 2004,2009).

Outro foco de estudo do comportamento humano, que tem como precursor e principal estudioso o pesquisador japonês Tadahisa Jin, se refere ao estudo experimental da reação das pessoas nas rotas de fuga numa situação de incêndios (JIN, 1978; JIN; YAMADA, 1989; JIN; YAMADA, 1985; JIN, 1997), dentro dos conceitos de *“wayfinding”* e dos efeitos da fumaça. As conclusões de suas pesquisas são largamente reconhecidas e adotadas como referência e parâmetro em projetos e regulamentações. Verifica-se que muitas pesquisas experimentais ainda foram desenvolvidas para avaliação da efetividade de sistemas de sinalização e de iluminação de ambientes com ou sem visibilidade reduzida, como de Weber (1984³¹ apud OUELLETTE; REA, 1989, p. 37), Jin et. al (1991), Paulson (1994) e Proulx; Kyle; Creak (2000).

Bryan (2002) observa que os estudos na área de comportamento humano em situações de incêndio, que teve grande impulso nos EUA a partir da segunda metade da

³¹ Webber, G.M.B. Emergency lighting Recommendations. National Lighting Conference. Cambridge. 1984. Proceedings... p. 138-150.

década de 1960, depois de vinte anos, sofreu decadência e passou a se destacar mais em outros países como Austrália, Canadá, Reino Unido, Japão, Nova Zelândia, Noruega e Suécia. No entanto, após o atentado terrorista ao World Trade Center de Nova Iorque, percebe-se que houve, novamente, uma grande injeção de recursos para pesquisas na área nos EUA, que estimulou a formação de um novo grupo de jovens pesquisadores, concentrados no NIST (NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY, 2005); além da maior atuação de pesquisadores do NRC (Canadá) e NFPA (EUA) reconhecidos como Proulx; Fahy (2004, 2009) e de grupos do Reino Unido (principalmente da Universidade de Ulster, na Irlanda do Norte, e de Greenwich, na Inglaterra).

4.7.1 Influência do nível de iluminação na velocidade de caminhada

Webber (1984 apud OUELLETTE; REA, 1989) apresentou uma extensa revisão bibliográfica sobre a questão do nível de iluminação (da luz de emergência) sob três parâmetros, todos relacionados à segurança na circulação, a saber: a) habilidade em passar por um espaço sem colidir com objetos; b) tempo para abandono, ou seja, velocidade de caminhada em rotas de fuga; e c) impressão subjetiva do grau de segurança.

Webber (1984, apud OUELLETTE; REA, 1989, p. 37) apresenta a Figura 4.15 quanto à influência do nível de iluminação no piso sobre a velocidade de caminhada das pessoas. Este gráfico reproduz resultados obtidos em experimentos por Simmons (1975³² apud OUELLETTE; REA, 1989, p.37) e por Jaschinski (1982³³ apud OUELLETTE; REA, 1989). O primeiro realizou experimentos em corredores com degraus e obstáculos, com pessoas na faixa etária superior a 50 anos, em sua maioria, e familiarizados com a rota de fuga. As pessoas entravam no espaço, uma por vez, e o tempo para caminhada e o número de colisões com grandes objetos foram medidos. Já, o segundo autor se utilizou de salas e corredores com ou sem placas de saída iluminadas indicando a direção nos cruzamentos. As pessoas foram classificadas em dois

³² SIMMONS, R.C. Illuminance, diversity and disability glare in emergency lighting. **Lighting Research and Technology**, v.7, n.1, p.125-132, 1975.

³³ JASCHINSKI, W. Conditions of emergency lighting. **Ergonomics**, v.25, n.5, p.363-372, 1982.

grupos: a dos jovens (18 a 30 anos) e dos idosos (50 a 70 anos) e não tinham familiaridade com as rotas. Neste caso, também foram medidos o tempo de caminhada e o número de colisões, além da avaliação subjetiva do nível de satisfação ou de dificuldade encontrado.

Figura 4.15 – Velocidade média de caminhada em função do logaritmo do nível de iluminação no plano do piso da rota de fuga.

Fonte: Weber (1984 apud MINISTÉRIO DAS CONSTRUÇÕES DO JAPÃO, 1985, p. 203), tradução nossa.

Ouellette; Rea (1989) incrementam a revisão realizada por Webber (1984 apud Ouellette; Rea, 1989), relatando o pouco número de trabalhos realizados e publicados desde então. Em relação ao tempo de abandono (transformado em velocidade de caminhada), acrescenta os dados do trabalho de Boyce (1985³⁴ apud Ouellette; Rea, 1989, p. 37), como pode ser visto na Figura 4.16.

Estes autores lembram que os estudos considerados são sempre em ambiente livre de fumaça.

Ouellette; Rea (1989) concluem que:

³⁴ BOYCE, P.R. **Movement under emergency lighting 1: The effect of illuminance.** Electricity Council Research Centre No. ECRC/M1904, 1985.

- Os valores de movimento de pessoas de idade similar em corredores são consistentes nos três estudos;
- A recomendação da IES (Illuminating Engineering Society of North America, atualmente denominada IESNA) de 5 lx no piso, em média, para iluminação de emergência leva a uma redução de aproximadamente 20% na velocidade de caminhada de pessoas entre 50 a 70 anos de idade, se comparada com a sua velocidade média sob 300 lx. A 1 lx e 0,2 lx, a redução de velocidade em relação aos 300 lx é de 31% e 50%, respectivamente.
- Com base nos dados de Boyce e Jaschinski para jovens, a redução da velocidade média é de, respectivamente, 12%, 20% e 30% a 5 lx, 1 lx e 0,2 lx em relação aos 300 lx.

Figura 4.16 – Velocidade média de caminhada corredores de três experimentos com iluminação de emergência.

Fonte: Ouellette; Rea (1989, p. 39), tradução nossa.

Trabalhos mais recentes vêm consolidando o uso de sinalização fotoluminescente para orientação de pessoas nas rotas de fuga, após estudos como de

Proulx; Kyle; Creak (2000) que levaram ao reconhecimento a utilidade deste sistema numa situação emergência com queda de energia.

4.7.2 Influência da fumaça (visibilidade e irritabilidade) na velocidade de caminhamento

A fumaça pode provocar tanto a diminuição da visibilidade da rota de fuga como causar irritações nos olhos e nas vias respiratórias, que tendem a diminuir a capacidade de raciocínio das pessoas. Ambos os efeitos podem comprometer o movimento de abandono, baixando a velocidade das pessoas.

A fumaça escura tende a obscurecer o ambiente, dificultando a identificação do caminhamento para a saída. Dentre os vários importantes estudos realizados neste sentido por Tadahisa Jin, podem ser citados aqueles sobre a visibilidade em corredores com fumaça (JIN; YAMADA, 1989), da sinalização de saída nestes corredores (JIN et al, 1991) e no nível de exposição das pessoas expostas à fumaça de incêndio (JIN, 1997).

O nível de irritabilidade dos gases contidos na fumaça também pode ter consequências graves no movimento de abandono, pois, dependendo de sua composição, podem irritar olhos e vias respiratórias, dificultando tanto a visão como a respiração. Jin (1985) associou estas duas situações em experimentos com seres humanos que foram submetidos a ambientes com fumaça branca irritante (queima lenta de *crib* de madeira) e fumaça escura não irritante (combustão de querosene). Os resultados podem ser vistos na Figura 4.17.

Verifica-se que a fumaça irritante teve predominância sobre o fato da mesma ser branca, no que se refere à sua influência na redução da velocidade das pessoas. As pessoas apresentaram velocidade maior de caminhamento na fumaça escura, porém não irritante, do que na fumaça branca e irritante.

Figura 4.17 - Velocidade de caminhada em ambiente com fumaça.
Fonte: Jin, (1997, p. 8).

4.7.3 Influência do comportamento anterior no início do movimento de abandono

O tempo entre o alarme/ aviso do incêndio e o início efetivo do movimento de abandono pelos ocupantes é um fator importante na contagem do tempo total de abandono. O primeiro desses tempos varia, essencialmente, com o tipo de comunicação do alarme e as ações desenvolvidas pelos ocupantes antes de iniciar o abandono, tais como: a investigação; a procura de mais informações; o alerta aos demais ocupantes; o auxílio a outros ocupantes; e as tentativas de extinção do incêndio, conforme estudos iniciados por Sime (1986) e com prosseguimento dado por Proulx (1993) e Fahy; Proulx (2001). O tipo de reação dos ocupantes tem relação direta com o tipo de ocupação da edificação e as características predominantes de sua população, assim como o tipo de treinamento e gerenciamento mantido no local.

Proulx (2002) afirma que, para a determinação do tempo total de abandono é necessário calcular o tempo até o início do movimento de abandono. Esse autor afirma, ainda, que a maioria dos pesquisadores da área de comportamento humano em incêndio tem ciência dessa necessidade, no entanto, hesita em sugerir valores para esse tempo de “espera pré-movimento” devido à escassez de dados nesta área e às incertezas envolvidas.

O primeiro documento que sugeriu tempos para iniciar o abandono foi publicado pela British Standards Institution (1997), conhecido como *Draft for Development DD 240*, que contempla a questão do uso de ferramentas de engenharia para decisões de projeto de segurança contra incêndio. Neste documento, o tempo “pré-movimento” era dado em função do tipo de alarme e do tipo de ocupação da edificação. Para edifícios de escritórios (onde os ocupantes estão acordados e familiarizados com o edifício, o sistema de alarme e os procedimentos de abandono), o tempo para início do abandono era dado por tipo de alarme, da seguinte forma:

- Tempo inferior a 1 minuto para alarme do Tipo 1 (Orientação específica por sistema de comunicação por voz, partindo de uma sala de controle com instalação de circuito fechado de televisão ou orientação ao vivo em conjunto com funcionários devidamente treinados e uniformizados que podem ser vistos e ouvidos por todos os ocupantes do local);
- Tempo de até 3 minutos para alarme do Tipo 2 (mensagem pré-gravada, não específica e/ ou por painéis informativos visuais em conjunto com funcionários treinados);
- Tempo superior a 4 minutos para alarme do Tipo 3 (alarme sonoro de incêndio em conjunto com funcionários sem treinamento específico).

Este documento foi discutido por alguns anos e aprimorado, resultando na publicação PD 7974-6:2004 (BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 2004) que também apresenta recomendações de tempo para início do abandono considerando os fatores enumerados no Quadro 4.4:

Principais fatores modificadores do cenário pré-movimento	
Qualidade do sistema de alarme	A1: sistema de detecção automática instalado em todo o edifício, com alarme imediato e geral para todos os ocupantes.
	A2: sistema de detecção automática instalado em todo o edifício, com alarme em dois estágios (inicialmente numa central monitorada) com sistema de alarme geral para todo o edifício a ser acionado também caso o pré-alarme não seja cancelado.
	A3: sistema de detecção automática localizado e alarme somente próximo ao local do incêndio; ou somente sistema de alarme geral para todo o edifício (sem sistema de detecção automática).
Complexidade do edifício	B1: edifício de um pavimento grande e de geometria regular com leiaute simples e bom acesso visual, com pequenas distâncias a percorrer até as saídas (por exemplo, supermercados).
	B2: edifício de múltiplos pavimentos com múltiplas salas de geometria simples, com leiautes simples (por exemplo, escritórios).
	B3: edifícios grandes e complexos com leiautes internos e compartimentos diversificados que podem dificultar o “wayfinding” (shopping centers, aeroportos, centros de lazer, etc.).
Qualidade do gerenciamento de segurança contra incêndio	M1: os ocupantes usuais (funcionários ou moradores) devem estar treinados num nível elevado de gerenciamento de segurança contra incêndio com boas práticas de prevenção e manutenção, grupo de brigadistas, planos de emergência e simulados periódicos. Sistema e procedimentos verificados por auditoria externa independente (certificação).
	M2: similar ao M1, porém com menos funcionários treinados e sem presença garantida de brigadistas o tempo todo. Pode não ter auditoria externa independente.
	M3: edifício com o gerenciamento básico (mínimo) de segurança contra incêndio. Não tem auditoria externa independente.

Quadro 4.4 – Principais fatores modificadores do cenário pré-movimento.

Fonte: British Standards Institution (2004), adaptado e resumido de pela autora.

Adicionalmente, a publicação PD 7974-6:2004 (BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 2004) apresenta uma representação da distribuição do tempo de pré-movimento e os efeitos do tipo de gerenciamento (M1 a M3) nestes tempos, conforme pode ser visto na Figura 4.18.

Para o caso específico de edifícios de escritórios, o Anexo H (informativo) do referido documento apresenta exemplos de tempo para início do abandono, considerando as seguintes premissas:

- Funcionários se apresentam largamente distribuídos, muitas vezes isolados em compartimentos, apesar de que alguns podem estar agrupados em edifícios de planta livre;
- Os ocupantes estão familiarizados com o edifício, o sistema de alarme e os procedimentos de gerenciamento;

Figura 4.18 – Representação da distribuição do tempo de pré-movimento e seus efeitos em diferentes níveis de gerenciamento da segurança contra incêndio.

Fonte: British Standards Institution (2004, p.24), tradução nossa.

- Em edifícios de escritórios bem gerenciados, com bons procedimentos e funcionários bem treinados, o tempo de pré-movimento será bem curto ou até imediato;
- Particularmente, quando o espaço se apresenta multi-compartmentado, é importante considerar o tempo de pré-movimento do ocupante de resposta mais lenta. Pessoas isoladas, individualmente, podem responder mais lentamente, especialmente se não se sentirem ameaçadas.

Dado o alarme, o referido documento sugere os seguintes tempos de pré-movimento no seu item H.1.7 (BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 2004, p. 39), a partir do acionamento do aviso de abandono à população do edifício de escritórios (Quadro 4.5):

Nível	Fatores para determinação do nível de segurança de edifícios de escritórios	Tempo de pré-movimento dos primeiros ocupantes	Tempo de pré-movimento dos últimos ocupantes
Nível 1	Deteção automática com alarme geral imediato (ou voz), alto nível de treinamento, existência de brigadista de pavimento e gerenciamento de segurança contra incêndio com auditoria independente e certificação.	30 s	1,5 min
Nível 2	Bom padrão de alarme e de gerenciamento de segurança contra incêndio, treinamento de funcionários e provisão de brigadista de pavimento, sistema de detecção com pré-alarme em central de segurança e alarme automático após 2 a 5 minutos.	60 s	3,5 min
Nível 3	Padrão básico de alarme e de gerenciamento, mínimo treinamento de funcionários e de provisão de brigadista de pavimento, gerenciamento básico de segurança contra incêndio com ou sem detecção e alarme automático.	Indeterminado: de poucos minutos até 30 minutos	Indeterminado: de 30 minutos a uma hora, no mínimo

Quadro 4.5 – Tempos de pré-movimento em função do nível de segurança contra incêndio de edifícios de escritórios.

Fonte: British Standards Institution (2004, p. 39), adaptado e resumido de pela autora.

Adicionalmente, há sugestões sobre tempos adicionais que devem ser introduzidos em função de outros fatores da ocupação, como a porcentagem de visitantes (pessoas não familiarizadas com o edifício e os procedimentos de emergência) e o grande número de salas compartimentadas.

Os dados apresentados acima têm base em dados experimentais de vários movimentos de abandono simulados (PURSER; BENSILUM, 2001) e percebe-se que a adoção dos respectivos tempos pré-movimento sugeridos na previsão do tempo total de abandono em projetos específicos depende essencialmente de fatores comportamentais e gerenciais que nem sempre o projetista pode garantir durante o uso do edifício. Dados desta natureza não são normalmente contemplados nos métodos de cálculo de tempo de abandono tradicionais, porém, passaram a ser necessários com a introdução dos conceitos de análise de risco e da criação de ferramentas de engenharia para o desenvolvimento de projetos de segurança contra incêndio.

4.8 Métodos manuais de dimensionamento

Como visto neste capítulo, vários são os estudos que serviram de base para o desenvolvimento não só de regulamentações que tratam do dimensionamento de saídas

de emergência, como também para o desenvolvimento de modelos de cálculos que se sofisticaram ao longo das últimas décadas, principalmente com a introdução dos fatores do comportamento humano aos modelos de princípios hidráulicos. O desenvolvimento das ciências computacionais e da tecnologia associada também permitiu o surgimento e aprimoramento dos modelos computacionais de simulação, acelerando os cálculos, permitindo o equacionamento de situações mais complexas e incluindo ferramentas visuais.

No que se refere ao dimensionamento de saídas de emergência em edifícios altos, vários estudos podem ser encontrados, principalmente na segunda metade do século XX. Apesar disso, métodos manuais de cálculo que tem como propósito a obtenção do tempo final de abandono são raros. Os métodos de dimensionamento de rotas de fuga encontrados em normas e regulamentações prescritivas, normalmente, determinam valores de fluxos em função dos componentes das rotas de fuga (corredor, porta, escada, etc.) e as dimensões e quantidades mínimas de saídas em função da lotação e uso da edificação, porém, dificilmente encontram-se referências sobre o tempo final de abandono desejado ou obtido.

A seguir, são apresentados alguns dos trabalhos que discutem e apresentam formas para obtenção do tempo final de abandono. Os trabalhos de Pauls (1978, 1980) são baseados em dados experimentais consistentes e tanto Nelson; Mowrer (2002) como Tanaka (2002) consolidam os dados e as equações apresentadas de forma fragmentada até aqui, neste capítulo para obtenção do tempo de abandono.

4.8.1 Estudos e propostas do *National Research Council* (Canadá)

As pesquisas desenvolvidas no *National Research Council* (NRC), do Canadá, principalmente por equipe liderada pelo pesquisador canadense Jake Pauls, com base em levantamentos de dezenas de movimentos de abandono (simulados) em edifícios altos naquele país, entre o final da década de 1960 e início da década seguinte, resultaram em vários relatórios e artigos técnicos de grande impacto, mencionados ao longo deste capítulo. Suas principais conclusões são apresentadas a seguir.

4.8.1.1 Abandono total de simultâneo

Segundo Proulx (2002), antes dos trabalhos canadenses, várias equações foram propostas para o cálculo do tempo de evacuação total, como a de Togawa (1955 apud PROULX, 2002) ou Melinek; Booth (1975³⁵ apud PROULX, 2002), no entanto, estas são complexas e não explicam totalmente o fenômeno da evacuação em si. Assim, Jake Pauls tentou minimizar essa complexidade, utilizando linguagem simples e representação gráfica que aproximasse a questão ao processo real do abandono.

Na experiência canadense, 29 simulados de abandono foram observados em edifícios de 8 a 21 pavimentos, com duas caixas de escadas cada, totalizando dados de 58 saídas de escada, em procedimento de abandono total e sem controle, com monitoramento do movimento em todas as escadas, no piso de descarga e em alguns pavimentos selecionados, com uso de instrumentos de medição e observadores (pessoas) móveis.

Ao final, utilizando-se os dados obtidos de tempo de abandono em 50 dos simulados, apresentados na Figura 4.19, Pauls (1980) deduziu duas equações por regressão, que reproduzem o abandono total de uma população de até 800 pessoas por metro de largura efetiva de escada (o equivalente a uma população de 650 pessoas para o caso de uma escada de 1120 mm (44 polegadas) que teria largura efetiva de 820 mm (32 polegadas)). A primeira equação é não-linear e mais se aproxima da distribuição dos resultados, e a segunda, linear, também é bastante representativa do fenômeno, a saber:

$$T = 0,68 + 0,081.p^{0,73} \quad \text{(Equação 22)}$$

$$T = 2,00 + 0,0117.p \quad \text{(Equação 23)}$$

Onde

- T: tempo total do abandono, em minutos; e
- p: população por metro de largura efetiva de escada.

³⁵ MELINEK, S.J.; BOOTH, S. An analysis of evacuation times and the movement of crowds in buildings.(CP 96/75). London: Building Research Establishment, 1975.

Figura 4.19 - Tempos totais observados e deduzidos de evacuação para edifícios altos de escritórios no Canadá.

Fonte: Pauls (1980, p.268), tradução nossa.

Pauls (1980) considera que para edifícios mais altos e pavimentos menos populosos, haverá um acréscimo no tempo de descida das escadas devido à menor densidade (10 segundos por pavimento ao invés de 15 a 20 segundos por pavimento) e apresenta uma equação corrigida para representar tal fenômeno, apresentada a seguir:

$$T = 0,70 + 0,0133.p \quad (\text{Equação 24})$$

Assim, na Figura 4.20 a seguir, Pauls (1980) apresenta o gráfico da equação acima citada e as curvas provenientes das equações de outros autores, para efeito de comparação. É possível verificar que mesmo com os valores otimizados por Pauls, para esta situação, o seu tempo estimado para evacuação total é superior aos dos demais estudos citados.

Figura 4.20 - Tempos totais observados e deduzidos de evacuação para edifícios altos incorporando resultados de outros estudos
 Fonte: Pauls (1980, p. 270), tradução nossa.

Pauls (1978) apresenta uma representação gráfica da evacuação total de um edifício de 15 pavimentos hipotético, com base nos dados obtidos em 30 simulados de abandono envolvendo o total de aproximadamente 15 mil pessoas em plenas condições de mobilidade em escadas adequadas com largura total de 1120 mm (Figura 4.21).

Figura 4.21 – Evacuação total, sem controle, de um edifício de escritórios de 15 pavimentos.
 Fonte: Pauls (1978, p.112), tradução nossa.

Na Figura 4.21, as linhas representam o movimento de abandono do último ocupante que deixa cada pavimento pela escada, sendo que as linhas inclinadas indicam o movimento de descida ao longo do tempo e as linhas horizontais, o período de espera ocasionado pelo congestionamento no interior da caixa de escadas. A situação apresentada corresponde a de uma população de 980 ocupantes (70 pessoas por pavimento) que consegue desocupar o edifício em menos de 9 minutos, a uma velocidade média de descida de 3,6 pavimentos por minuto, numa condição ótima, ressalta o autor (PAULS, 1978, p.113).

4.8.1.2 Abandono parcial e seletivo

Pauls (1978) também apresenta uma representação gráfica de uma evacuação parcial, denominada por ele de “seletiva ou faseada”, com base em observações de dez simulados de abandono. A Figura 4.22 representa uma situação de abandono seletivo somente do pavimento de origem do incêndio (10º), dos pavimentos acima deste (11º ao 15º) e do pavimento imediatamente abaixo (9º), numa seqüência específica, indicada na figura. Todos os ocupantes destes pavimentos foram orientados a descer e procurar abrigo em pavimentos inferiores ao 9º ou, opcionalmente, no exterior, saindo pelo térreo.

Figura 4.22 - Evacuação parcial, controlada, de um edifício de escritórios de 15 pavimentos.

Fonte: Pauls (1978, p.112), tradução nossa.

Comparada à representação gráfica da Figura 4.21, a inclinação mais acentuada das linhas da Figura 4.22 denota uma maior velocidade de descida e a distância entre

elas, uma menor densidade populacional no interior das escadas. Consequentemente, o fluxo da Figura 4.22 é maior que da situação da Figura 4.21. Em ambos os casos, verifica-se que em aproximadamente 9 minutos, todos os ocupantes atingiram o local seguro estipulado. Portanto, o abandono parcial (seletivo) de 490 pessoas levou praticamente o mesmo tempo que o abandono total de 980 pessoas. Porém, o autor ressalta que não se deve concluir, antecipadamente, que o abandono total e simultâneo é o melhor e mais eficiente. É necessário considerar que se houvesse realmente um incêndio no décimo pavimento e todos os ocupantes de todos os pavimentos tentassem abandonar o edifício ao mesmo tempo, provavelmente os ocupantes do pavimento incendiado não conseguiriam se abrigar prioritariamente na caixa de escada, tendo que aguardar sua vez na fila para conseguir descer (linha horizontal da Figura 4.21). Durante este período, a porta de acesso à caixa de escada do piso incendiado ficaria aberta e a fumaça poderia contaminar este espaço, prejudicando o seu uso pelos ocupantes dos pisos superiores.

Pauls (1978) sugere, com base nos dados obtidos nas simulações, que edifícios com 15 pavimentos ocupados por mil pessoas podem ser tomados como uma condição limite em que o abandono total e simultâneo poderia ser o procedimento comum e que o abandono parcial e seletivo deveria ser considerado para situações que ultrapassassem esses parâmetros. O mesmo autor também ressalta a importância de um gerenciamento e treinamento específico para garantir o abandono parcial e seletivo seguro e eficaz.

4.8.2 Proposta de Nelson; Mowrer (2002)

Os componentes deste método foram apresentados ao longo deste capítulo e a associação destes permite estimar o tempo para abandono em edifícios de múltiplos pavimentos. Os autores apresentam, inclusive, duas abordagens diferentes para o mesmo problema, considerando, em ambos os casos, o abandono total e simultâneo.

4.8.2.1 Método A

1. Premissas: a) O principal fator de restrição do fluxo será a caixa de escadas ou a porta de acesso a ela; b) Deverá ocorrer um congestionamento nestes pontos e, portanto, o fluxo específico (F_e) será o fluxo específico máximo ($F_{e \text{ max}}$)

estabelecido para cada situação; c) A população utilizará as saídas (portas, escadas e corredores) de forma equilibrada e racionalizada; e d) Todas as escadas e portas possuem mesmas dimensões.

2. Estimativa da capacidade de fluxo na(s) escada(s): Determinar a largura efetiva (L_e) da escada considerando efeitos de borda (vide Tabela 4.1) e o fluxo específico máximo ($F_{e\ max}$) para escadas (Tabela 4.6). Obter, com esses dados, o fluxo calculado (F_c) para a escada.
3. Estimativa da capacidade de fluxo na(s) portas(s) de acesso à(s) escada(s): Determinar a largura efetiva (L_e) da porta, novamente considerando os efeitos de borda (vide Tabela 4.1) e o fluxo específico máximo ($F_{e\ max}$) para portas. Obter, com esses dados, o fluxo calculado (F_c) para a porta.
4. Fluxo dominante: Comparar os valores de fluxo específico para cada conjunto de porta e escada. O fluxo dominante será o de menor valor entre os respectivos fluxos específicos máximos do conjunto.
5. Estimativa da velocidade descendente em escadas: Obter a velocidade descendente em escadas dada pela equação abaixo.

$$V = k.(1 - 0,266.D) \quad \text{(Equação 25)}$$

Onde:

- V: velocidade ao longo do percurso (m/s);
- D: densidade (pessoas/m²);
- k: constante (vide Tabela 4.11)

Tabela 4.11 – Valores do fator k e do fator de conversão em função das dimensões dos degraus.

Elemento da rota de fuga		Valores de k	Fator de Conversão para escadas
Corredor, rampas e portas		1,40	
Escadas			
Altura do espelho (cm)	Profundidade do piso (cm)		
19,0	25,4	1,00	1,66
17,8	27,9	1,08	1,85
16,5	30,5	1,16	2,08
16,5	33,0	1,23	2,22

Fonte: Nelson; Mowrer (2002), adaptada pela autora.

6. Estimativa do fluxo descendente em escadas: Calcular a distância a ser percorrida num trecho de escadas (horizontal) correspondente a um pavimento, multiplicando o fator de conversão da distância a percorrer na vertical da Tabela 4.11 pelo número de degraus da escada e somando este à distância horizontal percorrida nos patamares. Em seguida, obter o valor do fluxo descendente (segundos por piso), dividindo esta distância a percorrer (em metros) pela velocidade descendente em escadas (m/s).
7. Estimativa do tempo de evacuação total: Dividir a população total do edifício acima do térreo pelo número de conjuntos portas/escadas e, por sua vez, dividir o valor resultante (população servida por escada) pelo fluxo específico dominante (escada ou porta) definido no item 4 desta sequência de cálculo. Obter-se-á o tempo aproximado (em segundos) que toda a população levará para passar pela saída. Um tempo adicional de percurso de 1 pavimento deve ser acrescido para descida do 2º pavimento para 1º pavimento (térreo).

4.8.2.2 Método B

Este método traz uma análise mais detalhada dos cálculos a serem realizados para a obtenção do tempo total de abandono. No entanto, para situações de edifícios de múltiplos pavimentos com pavimento-tipo, o resultado é muito próximo ao do Método A, descrito anteriormente.

1. Premissa: A população utilizará todas as saídas de forma equilibrada.
2. Estimativas para cada pavimento: Determinar a densidade (D), velocidade (V), fluxo específico (F_s), largura efetiva (L_e) e fluxo calculado inicial (F_c) típico para cada pavimento. Para tanto, determinar a área de influência (corredores) de cada escada e, em cada área, determinar a densidade e a velocidade para a situação onde todos os ocupantes da respectiva área tentassem se mover no corredor ao mesmo tempo. Obter a densidade dividindo a população pela área do corredor e a velocidade, pela equação dada para o método A (no seu item 5). O fluxo específico é o produto da densidade e da velocidade ($F_s = D.V$). Verificar se o fluxo específico é superior ao fluxo específico máximo (Tabela 4.6); se for o

caso, adotar este último, caso contrário, permanecer com o valor do primeiro. O fluxo calculado (F_c) é o produto do fluxo específico (F_s) adotado e da largura efetiva (L_e) do corredor (vide Tabela 4.1 para obtenção da largura efetiva).

3. Estimativa do impacto da porta de acesso à escada no fluxo: Obter a largura efetiva (L_e) da porta (subtraindo o valor do efeito da borda para porta da Tabela 4.1). Como existe aqui um ponto de transição (corredor / porta), verifica-se o impacto da porta no fluxo do corredor, para determinar o fluxo específico resultante na porta, dada pela equação abaixo. Compara-se o fluxo específico máximo para porta (Tabela 4.6) com o fluxo específico obtido ($F_{e \text{ (porta)}}$) e adota-se o fluxo específico de menor valor entre os dois.

$$F_{e \text{ (porta)}} = [F_{e \text{ (corredor)}} \cdot L_{e \text{ (corredor)}}] / L_{e \text{ (porta)}} \quad (\text{Equação 26})$$

4. Estimativa de congestionamento na porta: Obter o fluxo calculado (F_c) para a porta e comparar com o fluxo calculado para o corredor. Se o fluxo calculado para o corredor for maior, a diferença entre os fluxos será o valor da taxa de congestionamento para acesso à porta da caixa de escada.
5. Estimativa do impacto das escadas no fluxo de saída: Obter a largura efetiva da escada (diferença da largura total da escada pelo valor da Tabela 4.1) e o fluxo específico máximo para a escada (Tabela 4.6). Adotando-se o mesmo princípio da transição entre corredor e porta, verificar o fluxo específico obtido na transição entre porta e escada, conforme demonstrado no item 3 desta sequência de cálculo e compara-se com o fluxo específico máximo para escadas para adotar o de menor valor.
6. Estimativa do fluxo de descida inicial: Com o valor do fluxo específico conhecido é possível obter a densidade aproximada (vide Figura 4.10) e calcular o valor da velocidade correspondente ($F_e = D.V$) na escada e, por consequência, como no método A (no seu item 6), obter o tempo necessário para percorrer a distância de descida de um piso de escada (t_i).

7. Estimativa do número de pessoas no interior da escada num dado momento inicial: Obter o fluxo calculado inicial, que é o produto do fluxo específico e da largura efetiva da escada. Após percorrer a distância de descida de um piso de escada, o número de pessoas no interior deste trecho da escada será o produto do fluxo calculado e do tempo para percorrer tal distância ($P_i = F_c \cdot t_i$). Multiplicando este valor (P_i) pelo número de pavimentos (x), teremos o número total de pessoas que entraram na escada no tempo t_i no edifício ($P_i(x) = P_i \cdot x$). Após este tempo t_i , o fluxo será dominado pela mistura entre o fluxo das demais pessoas que chegam na entrada da escada e o fluxo existente no interior da escada.
8. Estimativa do impacto da mistura do fluxo de entrada pela porta em cada pavimento e do fluxo existente no interior da escada: Neste caso, a transição dos dois fluxos (“porta” e “anterior na escada”) para um terceiro (“posterior na escada”) é representada pela equação a seguir.

$$F_{e(\text{posterior na escada})} = \{ [F_{e(\text{porta})} \cdot L_{e(\text{porta})}] + [F_{e(\text{anterior na escada})} \cdot L_{e(\text{anterior na escada})}] \} / L_{e(\text{posterior na escada})}$$

(Equação 27)

9. Estimativa do tempo inicial para ocupação da caixa de escadas: Assumindo que todas as pessoas iniciam o abandono no mesmo instante em todos os pisos, com a velocidade inicial no corredor igual àquela obtida no item 2 desta sequência de cálculo. Assumindo-se, ainda, que as pessoas estão homogeneamente distribuídas no corredor, a distância média percorrida por pessoa seria da metade do comprimento do corredor e o tempo médio correspondente para essas pessoas atingirem a porta da escada seria dado pela distância média dividida pela velocidade inicial. Neste instante (t_0), se a capacidade de fluxo pela porta da escada for inferior ao fluxo de pessoas no corredor, ocorrerá o congestionamento enfrente a esta porta. Outro tempo definido é aquele para que as primeiras pessoas que passam pela porta levam para descer um piso, o tempo (t_i). Teremos, neste instante ($t_0 + t_i$) uma população $P_i(x)$ no interior da escada. A partir deste instante, o processo de evacuação vai depender da sequência ou predominância de um piso sobre o outro na entrada à caixa de

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

4.8.3 Método japonês segundo Tanaka (2002)

Tanaka (2002) discorre sobre o método simplificado de cálculo do tempo de abandono de edifícios adotados no Japão desde 2001³⁶, como parte integrante do processo de avaliação do projeto de segurança contra incêndio de edificações com base no desempenho e alternativamente à avaliação de saídas de emergência por meio de simulações computacionais. Este método avalia o tempo para o abandono total e simultâneo do edifício, considerando que a população de cada pavimento se distribui igualmente entre as saídas de ambientes (salas e corredores) e de pavimentos (escadas) existentes. O cálculo para edifícios altos se torna possível, neste caso, devido à existência de pavimentos-tipo que diminui sensivelmente o volume de cálculos necessários, uma vez que, a princípio, é necessário calcular o tempo de abandono a partir de cada ambiente ocupado até a saída de pavimento (escadas).

O cálculo do tempo de abandono do pavimento deve seguir os princípios básicos já apresentados e comentados anteriormente, considerando a velocidade do fluxo e a distância a percorrer, além dos possíveis congestionamentos que podem surgir em função dos pontos de transição.

Para obter o tempo de abandono pelas escadas aplica-se a seguinte equação:

$$T_{esc} = n.P / (F_e.L_e) \quad \text{(Equação 28)}$$

Onde

- T_{esc} : tempo para descida das escadas;
- n : número de pavimentos;

³⁶ Notifications N# 1441 and 1442, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (May 31st, 2002).

- P: População de pavimento servida pela escada;
- F_e : Fluxo específico na escada;
- L_e : Largura efetiva da escada.

Normalmente, no Japão, considera-se o fluxo específico para escadas de 1,3 pessoas/(m.s) para escritórios. No entanto, o próprio Tanaka (2002, p. 343) conclui que este valor de fluxo específico leva a considerar que no interior de uma escada, numa altura correspondente a um pavimento, haverá uma ocupação de aproximadamente 20 pessoas por metro de largura de escada, ou seja, aproximadamente 0,05m por pessoa. Este valor é muito acima do que se adota como padrão em vários países e levaria a uma escada de grandes dimensões, sendo só economicamente viável para usos de baixa densidade, como edifícios residenciais multifamiliares e hotéis. Para escritórios, o valor largamente utilizado nunca ultrapassa os 0,01m por pessoa, em escadas. Assim, considerando este valor, teríamos:

$$L_e/P < 0,01 \quad \text{ou} \quad P/L_e > 100 \quad (\text{Equação 29})$$

Substituindo esta expressão e o valor do fluxo específico na Equação anterior, tem-se:

$$T_{esc} > (n/1,3) \cdot 100 \quad (\text{Equação 30})$$

Ou seja,

$$T_{esc} \approx 80.n \quad (\text{Equação 31})$$

Portanto, em edifícios altos, estima-se que o tempo para descer um pavimento por escadas seja de pelo menos 80 segundos. Assim, o tempo total de abandono de escadas dependerá do número total de pavimentos do edifício. Ainda assim, para edifícios muito elevados, o tempo obtido pode ser excessivo, levando à necessidade de considerar outras estratégias de abandono.

Adicionalmente, Tanaka (2002) ainda lembra que se deve acrescentar a este tempo, segundo o método simplificado, o maior tempo de abandono de pavimento (tempo necessário para percorrer a distância do ambiente mais afastado até atingir a

saída de pavimento, ou seja, a escada) e o tempo para início do movimento do abandono. Assim, a equação final que representa o tempo do abandono total e simultâneo de um edifício alto seria composta de:

$$T_t = T_{\text{início}} + T_{\text{pavimento}} + T_{\text{esc}} \quad (\text{Equação 32})$$

Onde

- T_t : tempo final para abandono total do edifício;
- $T_{\text{início}}$: Tempo para início do movimento do abandono;
- $T_{\text{pavimento}}$: Maior tempo para abandono do pavimento;
- T_{esc} : Tempo para abandono por escadas.

Este método de cálculo permite obter o tempo total para abandono, assim como os outros dois métodos apresentados anteriormente, considera certas premissas empíricas e realiza algumas simplificações para viabilizar sua utilização de forma rápida. Assim, situações mais complexas ou que objetivam maior racionalização do projeto de saídas de emergência, acabam por induzir à procura por métodos mais sofisticados e precisos para o dimensionamento das saídas de emergência e a obtenção de tempos de abandono aceitáveis.

4.9 Modelos computacionais

Os modelos computacionais de abandono são ferramentas de uso crescente da engenharia de segurança contra incêndio em análises do nível de segurança à vida com base no desempenho de edifícios. Estes modelos de abandono podem ser utilizados em diferentes fases do desenvolvimento do projeto do edifício para garantir o nível desejado de segurança contra incêndio dos seus ocupantes. Quanto mais cedo a análise das saídas de emergência for introduzida ao projeto, maiores serão as possibilidades e alternativas para solucionar algum problema específico.

Os modelos de abandono atuais possibilitam a simulação de vários cenários para o movimento de evacuação num edifício, direcionando o projeto de saídas de emergência. São vários os dados de entrada que compõem estes cenários, incluindo as características do edifício (número de pavimentos, distribuição dos ambientes, etc.) e as

características dos seus ocupantes (número de pessoas, dados antropométricos (peso, altura, etc.) e seu perfil (idade, mobilidade, familiaridade, etc.). É possível também, comparar os resultados da simulação computacional de abandono com os da simulação do incêndio e seus efeitos, de forma a verificar se o tempo de abandono é menor que o tempo para se atingir uma situação perigosa para os ocupantes do edifício.

4.9.1 Categorias de modelos

De acordo com Kuligowski (2003), os primeiros modelos computacionais de abandono surgiram há mais de 30 anos e, desde então, têm sofrido aprimoramentos significativos, possibilitados tanto pelo acúmulo de dados de entrada assim como pelo avanço na tecnologia de informação e no desempenho das máquinas (computadores). Esta mesma autora apresenta um histórico do surgimento e desenvolvimento dos principais modelos e classifica os modelos em três categorias, em função de suas características, em:

1. Modelos de movimento;
2. Modelos de comportamento parcial; e
3. Modelos de comportamento.

Os modelos de movimento têm como premissa uma população homogênea, portanto, velocidade e fluxo homogêneos e distribuição equilibrada da população para as saídas, da forma mais eficiente, em fluxo contínuo (modelo de fluxo hidráulico). Este modelo é útil para a verificação de áreas de congestionamento e gargalos no edifício.

Os modelos de comportamento parcial, por sua vez, são aqueles que basicamente calculam o movimento das pessoas, mas também introduzem alguns comportamentos menos complexos, como a inserção do tempo pré-movimento nos ocupantes e o comportamento de ultrapassagem. Estes modelos têm como base os dados de observações de comportamento humano em exercícios de abandono de edifícios, segundo Kuligowski (2003).

Os modelos de comportamento são aqueles que incorporam as ações dos ocupantes que vão além do movimento em direção à saída. Estes modelos podem

atribuir o poder de decisão aos ocupantes para o desempenho de ações/comportamentos em função das condições a que são submetidas no edifício. Cada ocupante é individualizado e possui características próprias que podem variar de modelo para modelo, incluindo desde fatores mais simples como velocidade de caminamento, idade e gênero até outros mais complexos, que Santos e Aguirre (2005) intitulam de fatores “sociológicos”, como o grau de familiaridade, de mobilidade e de paciência (espera) além da incorporação de efeitos do incêndio, como fumaça e calor, no indivíduo, podendo simular até sua morte.

4.9.2 Fatores para seleção dos modelos

São vários os fatores a serem considerados na escolha do modelo de abandono mais adequado para atender os objetivos do seu usuário, que vão de fatores de ordem técnico-operacional até econômica.

Kuligowski (2003) apresenta uma lista de fatores, que denomina “subcategorias”, e explica as razões para a consideração dos mesmos. No Quadro 4.6 é apresentado um resumo das considerações desta autora.

Gwynne; Galea ([199?]³⁷ apud NELSON; MOWRER, 2002, p 3-378 a 3-379) apresentam uma lista de perguntas a serem respondidas, por tipo de fator a ser avaliado, para a seleção do modelo mais apropriado. Esta lista é apresentada no Quadro 4.7.

³⁷ GWYNNE, S.; GALEA, E.R. **A Review of the Methodologies and Critical Appraisal of Computer Models Used in the Simulation of Evacuation from the Built Environment**. Research Report, Bethesda: Society of Fire Protection Engineers, [199?].

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
ROSARIA ONO

Fatores (subcategorias dos modelos)	Características a considerar
Objetivo	Para que tipo de edifício o modelo foi elaborado. Existem modelos que simulam: a) qualquer tipo de edifício; b) somente edifícios residenciais; c) somente terminais e estações de transporte público; d) somente edifícios de poucos pavimentos; e) somente uma rota de fuga.
Disponibilidade para uso público	Possibilidade de acesso e uso do modelo. Alguns modelos são acessíveis ao público, gratuitamente ou não, e outros são de uso restrito de empresas de consultoria e podem, ainda, existir outros que não foram lançados ou estão que indisponíveis por caírem em desuso.
Estrutura do modelo	Precisão do movimento dos ocupantes no interior do edifício do modelo. Modelos mais precisos subdividem a planta do edifício em malhas sobre as quais os ocupantes se movem. Modelos menos precisos só subdividem a planta em ambientes e o movimento dos ocupantes é realizado, grosseiramente, entre esses ambientes. Os modelos mais precisos permitem a colocação de obstáculos e barreiras na malha que podem influenciar na rota a ser tomada para o abandono.
Perspectiva do modelo	Como o modelo vê o ocupante: é importante saber se o modelo considera os ocupantes como um grupo homogêneo ou se os considera como indivíduos. No primeiro caso, não é possível verificar a posição de cada indivíduo no tempo assim como atribuir características individuais.
	Como o ocupante vê o edifício: é importante saber se o ocupante vê o edifício de forma individual ou de forma global, em grupo. Só no primeiro caso é possível atribuir nível de conhecimento das saídas e dar poder de decisão a cada ocupante.
Uso de dados de incêndio	Incorporação de dados do incêndio na simulação de abandono e como faz isso: a) importando dados de incêndio de outro modelo; b) permitindo inserir dados a certos instantes da simulação de abandono; c) inserindo dados do modelo de incêndio que corre simultaneamente.
Importação de desenhos do CAD	Possibilidade de importação de arquivos DXF do programa de CAD para o modelo. A importação de arquivos de planta reduz a possibilidade de erros de entrada de dados e o tempo para essa tarefa.
Capacidade de visualização	Muitos modelos possibilitam a visualização do movimento pelo menos em duas dimensões (2D). Isto facilita a identificação de congestionamentos e gargalos nos espaços. Outros modelos apresentam visualização em 3D e ainda existem modelos que não possuem esta interface.
Estudos para validação	A validação do modelo normalmente é realizada comparando-se os resultados das simulações por computador com dados de exercícios simulados de abandono real em edifícios.
Movimento do ocupante	Normalmente, a velocidade inicial do ocupante é atribuída pelo modelo ou pelo usuário. No entanto, é necessário verificar como o modelo realiza alterações nessa velocidade em função das filas e dos congestionamentos gerados ao longo da simulação. Existem desde modelos que desconsideram a questão até modelos que incluem a correlação da velocidade com a densidade populacional do espaço.
Comportamento do ocupante	O modelo pode não incluir nenhum tipo de comportamento ou diferentes graus de comportamento, de forma gradativa, até aqueles modelos que tentam simular a inteligência humana por meio da inteligência artificial.
Saída de dados (resultados)	A qualidade dos dados de saída deve ser analisada, pois é necessário saber se o tipo de informação que o usuário necessita é fornecido. Os principais dados de interesse normalmente são: tempo de evacuação total, tempo para os ocupantes deixarem cada pavimento, tempo para abandono em saídas específicas, etc.
Ferramentas especiais do modelo	A quantidade de fatores que podem permitir simular abandonos mais realísticos deve ser considerada, se for de interesse do usuário do modelo. Dentre estes fatores podem estar a inserção de: contrafluxos, obstáculos nas saídas, condições de incêndio, graus de mobilidade dos ocupantes, tempos de pré-movimento, uso de elevadores, preferência de rotas para escape, etc.
Limitações do modelo	O modelo pode ter limitações de capacidade de processamento, relacionada ao uso de computadores pessoais de mesa. Estas limitações podem ser o número de ocupantes, de pavimentos, de obstáculos, de espaçamento de malhas, etc.

Quadro 4.6 – Fatores a serem considerados na escolha de modelos de abandono.

Fonte: Kuligowski (2003), adaptado pela autora.

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
ROSARIA ONO

Fatores	Perguntas
Tipo de modelo de abandono	<ul style="list-style-type: none"> O modelo tem base na otimização (fluxo), simulação (comportamental parcial) ou na avaliação de risco (comportamental)? O tipo de modelo é adequado à aplicação? Quais são as limitações do modelo em relação à aplicação?
Representação dos compartimentos	<ul style="list-style-type: none"> O modelo tem base na malha fina? Como os diferentes espaços e áreas são representados? Como são as conexões entre os espaços representados? Como as representações influenciam nos resultados do modelo? Quantos nós, conexões e obstruções o modelo suporta? Como entram os dados que representam os espaços, as conexões e as obstruções?
População	<ul style="list-style-type: none"> O modelo usa a perspectiva global ou individual? Se a perspectiva é global, que características gerais da população são representadas? Se a perspectiva é individual, quais características da população são representadas? Como as características globais ou individuais da população são inseridas no modelo?
Comportamento	<ul style="list-style-type: none"> Que tipo de comportamento o modelo utiliza: nenhum, implícito, com base em regras, de analogia funcional ou inteligência artificial? Como o modelo trata a interação pessoa-pessoa e seus efeitos no comportamento? Como o modelo trata a interação pessoa-compartimento e seus efeitos no comportamento? Como o modelo trata a interação pessoa-ambiente e seus efeitos no comportamento? Como o modelo insere os fatores fisiológicos que influenciam a decisão dos ocupantes? Como o modelo insere os fatores psicológicos que influenciam a decisão dos ocupantes? Como o modelo insere os fatores sociológicos que influenciam a decisão dos ocupantes?
Validação do modelo	<ul style="list-style-type: none"> O modelo foi validado? Em caso positivo, como e a que ponto? Como a validação do modelo foi divulgada?
Implementação do modelo	<ul style="list-style-type: none"> O modelo foi implementado num computador? Qual a plataforma do computador necessário para o modelo?
Suporte do modelo	<ul style="list-style-type: none"> O modelo tem suporte dos seus autores? O modelo tem suporte de alguma outra agência? O modelo está ainda em desenvolvimento? Em caso positivo, como os usuários são informados das atualizações realizadas?
Custo do modelo	<ul style="list-style-type: none"> Qual o custo inicial do modelo? Quais os custos de manutenção, atualização e suporte do modelo?
Grau de adequação às necessidades da tarefa	<ul style="list-style-type: none"> Que tipo de inserção o modelo requer do usuário? Os dados estão disponíveis? O modelo considera elementos necessários à tarefa em questão, como: velocidade do movimento, impacto da densidade na velocidade, formação de filas ou outros congestionamentos, fusão de fluxos, decisões pré-movimento, decisões e ações durante o movimento? O modelo produz os dados de saída que atendem às necessidades da tarefa em questão?

Quadro 4.7 – Roteiro de perguntas para seleção do modelo de abandono mais apropriado para a tarefa a ser desenvolvida.

Fonte: Gwynne; Galea ([199?] apud NELSON; MOWRER, 2002, p 3-378 a 3-379), adaptado pela autora.

É possível notar que várias das questões listadas por Kuligowski (2003) são comuns àquelas identificadas por Gwynne; Galea ([199?] apud NELSON; MOWRER, 2002) como critérios essenciais para avaliação e seleção do modelo mais adequado para

o objetivo do usuário. Esta discussão é importante, pois caso o usuário não tenha conhecimento detalhado sobre o modelo e o utiliza como este fosse uma “caixa preta”, pode-se comprometer a análise e interpretação dos resultados e, consequentemente, a adequabilidade das melhorias a serem propostas no projeto em função dos resultados. Friedman (1992) realizou um extenso levantamento dos modelos computacionais existentes na área de segurança contra incêndio na época e que resultou numa soma de 75 modelos, dos quais 6 eram de abandono. Olenick; Carpenter (2003) apresentaram uma atualização deste levantamento após uma década e encontraram 16 modelos de abandono. O levantamento realizado em 2007 pela *Combustion Science and Engineering*³⁸ apresenta o total de 27 modelos de abandono. Um resumo destes levantamentos é apresentado na Tabela 4.12 e no Quadro 4.8 a seguir.

Tabela 4.12 – Resumo dos levantamentos sobre modelos computacionais

Tipos de Modelo	Friedman (1992)	Olenick e Carpenter (2003)	Combustion Science and Engineering, Inc (2007)
Modelos de zona: incêndio e fumaça	31	48	52
Modelos de campo	10	17	20
Modelos de abandono	6	16	27
Modelos de resposta térmica de estruturas	12	22	34
Modelos de atuação térmica de detectores	5	8	9
Outros modelos que não se classificam entre aqueles citados	11	28	32
Total	75	139	174

É possível verificar, no Quadro 4.8, o crescente interesse pelo tema ao longo dos anos, apesar de sua complexidade, conforme já comentado anteriormente, principalmente em razão do desenvolvimento dos métodos de engenharia para análise de projetos de segurança contra incêndio. A análise dos pontos fortes e fracos de cada modelo não é foco de discussão desta tese, sendo que detalhes dos modelos podem ser encontrados nos trabalhos dos autores citados.

³⁸ Disponível em: <http://www.firemodelsurvey.com/> (acessado em 01/05/2010)

Friedman (1992)	Olenick e Carpenter (2003)	Combustion Science and Engineering, Inc (2007) ³⁹
-	Allsafe (Noruega)	Allsafe (Noruega)
-	ASERI (Alemanha)	ASERI (Alemanha)
-	-	BFIRE II
-	-	BGRAF
-	buildingExodus (Reino Unido)	buildingExodus (Reino Unido)
EESCAPE (Austria)	EESCAPE (Australia)	EESCAPE (Australia)
-	EGRESS (Reino Unido)	EGRESS (Reino Unido)
-	EgressPro (Australia)	EgressPro (Australia)
-	ELVAC (EUA)	ELVAC (EUA)
-	-	ERM
-	-	E-SCAPE
EVACNET + (EUA)	EVACNET 4 (EUA)	EVACNET 4 (EUA)
EVACS (Japão)	EVACS (Japão)	EVACS (Japão)
EXIT89 (EUA)	EXIT89 (EUA)	EXIT89 (EUA)
EXITT (EUA)	EXITT (EUA)	EXITT (EUA)
HAZARD I (EUA)	-	-
-	-	Legion Studio(Reino Unido)
-	-	Magnetic Simulation
-	-	maritimeExodus (Reino Unido)
-	-	Myriad II
-	PATHFINDER (EUA)	PATHFINDER (EUA)
-	-	PEDROUTE
-	SEVE-P (França)	-
-	Simulex (Reino Unido)	Simulex (Reino Unido)
-	STEPS (Reino Unido)	STEPS (Reino Unido)
-	-	TAKAHASHI's FLUID MODEL
-	-	VEGAS
-	WAYOUT (Australia)	WAYOUT (Australia)
6	16	27

Quadro 4.8 – Quadro comparativo dos modelos de abandono levantados

Em evento realizado em Cambridge, Reino Unido, em Julho de 2009, intitulado “4th International Symposium on Human Behaviour in Fire”, foi possível constatar as tendências das pesquisas e discussões sobre os modelos de abandono, tanto no que se refere à sua aplicabilidade como compatibilização com dados de situações reais de emergência. Purser; Boyce (2009), por exemplo, apresentaram uma discussão sobre a relação entre a modelagem e os estudos experimentais de comportamento durante a evacuação em escadas, comparando estes dados com os parâmetros definidos no código prescritivo vigente no Reino Unido para dimensionamento de escadas de emergência. O modelo computacional de evacuação utilizado para o estudo é denominado GridFlow e, neste caso, o objetivo específico era avaliar o comportamento

³⁹ Disponível em: <http://www.firemodelsurvey.com/EgressModels.html> (acessado em 01/05/2010).

de fusão (encontro) dos fluxos de pessoas nos patamares de acesso às escadas, considerando o fluxo descendente já existente no interior da escada e o fluxo de entrada proveniente dos pavimentos, no modelo e validá-lo utilizando os dados obtidos experimentalmente em evacuações de 5 edifícios diferentes no Reino Unido (Londres e Irlanda do Norte). Os resultados das simulações foram muito similares aos dados experimentais, portanto, possibilitando a validação do modelo neste campo específico.

Kady; Gwynne; Davis (2009) apresentaram, neste mesmo evento, artigo cujo objetivo era uma revisão das fontes dos dados de comportamento de ocupantes em que os modelos se baseiam para realizar as simulações. Os autores realizaram uma revisão bibliográfica sobre modelos de evacuação e encontraram 62 deles, selecionados com certo elenco de critérios. Estes modelos foram classificados em dois tipos: 1) aqueles que incorporam e apresentam a descrição dos dados sobre os ocupantes (46 modelos) e 2) aqueles que não apresentam descrição específica sobre os ocupantes (16 modelos). Dos 46 modelos que apresentavam dados de movimento de ocupantes, somente 34 identificavam especificamente a fonte desses dados que, por sua vez, se dividiam em dois tipos: a) estudos experimentais (exercícios simulados e movimentos de pessoas em condições não emergenciais) e b) testes de incêndio e relatórios de ocorrências de incêndios. Os autores concluem, após análise dos dados de movimento de pessoas de 34 modelos, que existe uma tendência em adotar dados de certas fontes específicas, muito restritas, e que a influência destas fontes no desenvolvimento do modelo depende, obviamente, da forma como são empregados. Muitos dos modelos se utilizam de fontes já mencionadas anteriormente, como Predtechenskii; Milinskii (1978), Nelson; Mowrer (2002), Jin (1978) e Pauls (1980).

Observa-se, por meio deste artigo, que o número de modelos de evacuação aumentou significativamente desde o último levantamento realizado em 2007, conforme apresentado no Quadro 4.8, passando de 27 para pelo menos 62 em 2009.

Gwynne (2009) apresentou, também, um trabalho em que discute a questão da padronização dos dados em modelos de evacuação, considerando que as fontes de dados empíricos são limitadas e com escopos relativamente restritos; nem sempre apropriados para uma aplicação específica. Muitos dos dados disponíveis foram obtidos

há várias décadas, portanto, podem não mais representar a condição atual. Todos estes fatores levam a incertezas na compreensão dos fenômenos do mundo real e nas tentativas de modelar estes fenômenos. O artigo apresenta um projeto de padronização da descrição e do armazenamento de dados antropométricos e de comportamento humano que tem como objetivo implementar este sistema no NIST, de forma a facilitar o armazenamento, o processamento e o acesso dos dados aos pesquisadores e engenheiros que deles necessitarem.

Veeraswamy; Lawrence; Galea (2009), por sua vez, apresentam um estudo de uma ferramenta que considera o processo decisório de um indivíduo localizado no interior de um espaço complexo na tentativa de encontrar um caminho que leva para um local seguro, normalmente fora do edifício (*wayfinding*). Na maioria das ferramentas dos modelos de evacuação existentes, o “*wayfinding*” é completamente ignorado e os indivíduos são direcionados para o caminho direto mais curto ou utiliza um campo de potencialidades induzido para encontrar o caminho mais curto até uma saída. O artigo apresenta uma nova técnica de “*wayfinding*” que tenta representar, de forma mais aproximada, a maneira como as pessoas encontram o caminho no interior de um edifício, que é demonstrada por meio de dois exemplos. Os resultados demonstram que os fatores introduzidos, com base em teorias da psicologia ambiental, determinam comportamentos muito mais complexos no movimento de evacuação e de seleção das rotas de fuga.

Tentou-se destacar, por meio de um breve resumo dos artigos que tratam especificamente dos modelos, apresentados recentemente num dos mais importantes eventos da área, a preocupação e as tendências da área, em aproximação cada vez maior do modelo com as situações reais, assim como as discussões sobre a adequabilidade das fontes de dados utilizadas como parâmetros de movimento de pessoas em modelos de simulação.

O assunto é complexo e leva a uma necessidade crescente de conhecimento sobre as vantagens, desvantagens e limitações dos modelos pelos usuários para que suas aplicações para avaliação dos projetos de saídas de emergência sejam efetivas.

5 AS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA EM TEXTOS PRESCRITIVOS DE CARÁTER NORMATIVO OU LEGISLATIVO

Neste capítulo são analisados os requisitos que constam das normas e regulamentações abordadas nesta tese, para efeito de dimensionamento de saídas de emergência, assim como aqueles relativos aos dispositivos de proteção passiva e ativa exigidos para garantir a segurança de uso das rotas de fuga.

Para tanto, os requisitos são apresentados, com suas respectivas referências de origem, de forma a possibilitar, se necessário, a avaliação dos itens abordados por meio da consulta aos documentos originais e na sua forma integral. Sempre que houver pertinência, objetivou-se, também, realizar uma análise crítica sobre a estrutura de apresentação dos requisitos dos documentos analisados.

A elaboração deste capítulo na forma apresentada se fez necessária para que uma análise comparativa entre os requisitos das regulamentações e normas consideradas fosse possível neste estudo.

5.1 ABNT - NBR 9077/1993: Saídas de emergência em edifícios

5.1.1 Breve histórico

A primeira versão da atual norma brasileira ABNT NBR 9077 foi aprovada e publicada em 1974 pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) como NB 208 e intitulada ***Saídas de emergência em edifícios altos*** (FAILLACE, 1991, p.71), e deu início à normatização específica referente a saídas de emergência no Brasil.

A primeira revisão desta norma foi proposta em 1980 e realizada por uma Comissão de Estudos da Comissão Brasileira de Construção Civil (CB-2) da ABNT sediada em Porto Alegre, especificamente na Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, que resultou na aprovação da versão revisada em 1983. Em 1985, esta norma recebeu nova numeração, registrada a partir de então como NBR 9077, já com o título ***Saídas de emergência em edifícios***, estendendo seu escopo para todos os tipos de edificações e não mais somente para edifícios altos (acima de 20 metros de altura) (FAILLACE, 1991, p.72).

A norma atualmente em vigor é resultado de uma segunda revisão elaborada, inicialmente, sob coordenação da Comissão de Estudos do CB-2 (Comitê Brasileiro da Construção Civil) da ABNT ainda sediada em Porto Alegre, com a colaboração do recém-criado CB-24 (Comitê Brasileiro de Segurança contra Incêndio), aprovada e publicada em 1993. Atualmente, sob a coordenação do CB-2 e do CB-24, esta norma está novamente sob revisão.

5.1.2 Requisitos e Critérios de dimensionamento

A norma brasileira tem como base de dimensionamento das saídas de emergência o conceito de **unidades de passagem**, que foi largamente adotado em códigos e normas internacionais. A largura das saídas é composta por um número de unidades de passagem que visa a atender a um fluxo gerado pela movimentação da população servida. A discussão de tal conceito é aprofundada na análise comparativa dos critérios de dimensionamento no próximo capítulo desta tese. A seguir são apresentados os principais tópicos abordados por esta norma e seus respectivos requisitos.

5.1.2.1 Cálculo da população

A Tabela 1 do Anexo da norma apresenta a classificação das edificações quanto à sua ocupação e a Tabela 5 apresenta, em sua terceira coluna, a densidade a ser utilizada por tipo de ocupação (pessoa/m²).

Assim, o cálculo da população de cada pavimento da edificação deve ser feito considerando a área do pavimento e a densidade populacional atribuída por tipo de ocupação. Em geral, excluem-se terraços, sacadas e assemelhados da área total de pavimento, para efeito de cálculo da população. Outras condições excepcionais para cálculo da população em função do tipo de ocupação são tratados nos itens 4.3.3 e 4.3.4 da Norma.

5.1.2.2 Cálculo da largura das saídas

No Item 4.4.1.1, a Norma especifica que a largura das saídas (acessos, escadas, descargas, etc.) deve ser dimensionada em função do número de pessoas que por elas transitarão, observando os seguintes critérios:

- ✓ Os acessos são dimensionados em função dos pavimentos que servirem a população;
- ✓ As escadas, rampas e descargas são dimensionadas em função do pavimento de maior população o qual determina as larguras mínimas para os lanços correspondentes aos demais pavimentos considerando-se o sentido da saída.
- ✓ Nenhum tipo de saliência (vide Figura 5.1) ou abertura de folha de porta pode diminuir a largura mínima de saída em mais de 10 cm (vide Figura 5.2), sendo que saliências são permitidas com no máximo 25 cm de comprimento no sentido do corredor (itens 4.4.3.2 e 4.4.3.3).

Figura 5.1 – Saliências em saídas.

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (1993, p. 5).

Figura 5.2 – Abertura de portas no sentido do trânsito de saída.

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (1993, p. 6).

Essa largura é calculada pela seguinte equação (item 4.4.1.2):

$$N = P/C \quad \text{(Equação 33)}$$

onde:

- N: número de unidades de passagem, arredondado para número inteiro imediatamente maior que o valor do quociente;
- P: população calculada conforme densidade dada na Tabela 5, por tipo de ocupação;
- C: capacidade da unidade de passagem conforme Tabela 5 da Norma.

A Tabela 5 da Norma é reproduzida parcialmente, na Tabela 5.1, para possibilitar o entendimento dos valores utilizados no cálculo acima apresentado.

Tabela 5.1 – Dados para o dimensionamento de saídas (Exemplo da NBR 9077)

Ocupação		População	Capacidade da unidade de passagem		
Grupo	Divisão		Acessos e descargas	Escadas e rampas	Portas
A - Residencial	A-1, A-2	2 pessoas por dormitório	60	45	100
	A-3	2 pessoas por dormitório e uma pessoa por 4m ² de área de alojamento			
B – Serviços de hospedagem	-	1 pessoa por 15,0 m ² de área	100	60	100
C – Comercial varejista	-	1 pessoa por 3,0 m ² de área			
D – Serviços profissionais, pessoais e técnicos	-	1 pessoa por 7,0 m ² de área			
E – Educacional e cultura física	E-1 a E-4	1 pessoa por 1,50m ² de área			

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (1993, p. 29).

A **largura mínima** determinada pelo **item 4.4.2** da Norma é de 1,10m (duas unidades de passagem de 0,55m) para as ocupações em geral, com exceção do grupo H (serviços de saúde e institucionais), divisão H-3 (hospitais e assemelhados), onde a largura mínima é de 2,20m. No entanto, no item 4.4.3.2, fala-se também em largura mínima livre de 1,65m para o grupo F (locais de reunião de público).

5.1.2.3 Distância a percorrer até uma saída

As distâncias máximas a percorrer até atingir um local seguro (espaço livre exterior, área de refúgio, escada protegida ou à prova de fumaça) são determinadas no **item 4.5.1** da Norma, com base na Tabela 6 do seu Anexo, em função das características construtivas da edificação, de acordo com a classificação da Tabela 4 do mesmo Anexo.

Tabela 5.2 – Distâncias máximas a percorrer até uma saída (NBR 9077).

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: edificações em que a propagação do fogo é fácil	Qualquer	10,00m	20,00m	25,00m	35,00m
Y: edificações com mediana resistência ao fogo	Qualquer	20,00m	30,00m	35,00m	45,00m
Z: edificações em que a propagação do fogo é difícil.	C,D,E, F, G-3, G-4, G-5, H, I	30,00m	40,00m	45,00m	55,00m
	A, B, G-1, G-2, J	40,00m	50,00m	55,00m	65,00m

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (1993, p. 28 e 30).

Verifica-se que os valores da distância máxima a percorrer variam consideravelmente, em função das características construtivas (Classificação da edificação em X, Y e Z). Verifica-se, também que, quando há sistema de chuveiros automáticos, essa distância máxima cresce significativamente (15m), dentro da mesma classificação. Além disso, as distâncias têm diferenças de 10m em função da classificação da edificação, assim como em função de existir mais de uma saída, dentro da mesma classificação.

A classificação de X, Y e Z é especificada na Tabela 4 do Anexo da Norma. No entanto, verifica-se que os textos constantes para Classe X (item 4.5.2.4), para Classe Y (item 4.5.2.5) e para Classe Z (item 4.5.2.6) são mais esclarecedores do que a Tabela. Ainda assim, no item 4.5.2.6, fica a dúvida se é necessário cumprir as condições apresentadas em todas as suas alíneas para atender os termos da classe Z ou apenas a uma delas.

A seguir, é apresentada a tabela-resumo (Tabela 5.3) dos requisitos apresentados nos itens 4.5.2.4 a 4.5.2.6 da Norma:

Tabela 5.3 – Definição das exigências para classificação dos edifícios em X, Y ou Z (NBR 9077).

Classes	Tipo	Definição
X	Edificações em que a propagação do fogo é fácil	Edificações que tiverem qualquer peça estrutural ou entrepiso combustível ou não resistente ao fogo e desprotegido.
Y	Edificações com mediana resistência ao fogo	Qualquer edificação dotada de estrutura resistente ao fogo apresentar qualquer uma das seguintes condições de risco: a) Abertura entre pavimentos sem compartimentação vertical interna; b) Abertura entre pavimentos sem compartimentação vertical de fachada; c) Pavimentos de edifícios de escritórios com áreas superiores a 125m ² sem compartimentação horizontal; d) Vãos de iluminação e ventilação para pátios internos (átrios) que não atendam as condições de espaço livre exterior conforme item 3.27 da Norma.
Z	Edificações em que a propagação do fogo é difícil	Qualquer edificação que tenha: a) Estrutura de concreto armado ou protendido calculado e executado conforme NBR 5627; b) Paredes externas com pelo menos 2 horas de resistência ao fogo; c) Compartimentação vertical de fachada por vergas e peitoris com, no mínimo, 1,20m de altura ou aba horizontal que avance, no mínimo, 0,90m da fachada, solidárias com o entrepiso; ambas com pelo menos 2 horas de resistência ao fogo; d) Isolamento entre unidades autônomas (compartimentação horizontal), conforme item 4.5.2.7 da Norma.

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (1993, p. 6).

Como pode ser visto as características construtivas relacionadas na classificação em edificação tipo X, Y ou Z estão essencialmente relacionadas a conceitos de Compartimentação Horizontal e Compartimentação Vertical da edificação. Estes temas, infelizmente, ainda não são contemplados por normas brasileiras e, fica, portanto, uma lacuna que é preenchida, ainda que de forma incompleta, nos itens 4.5.2.4 a 4.5.2.10 desta Norma.

5.1.2.4 Quantidade mínima de saídas

A quantidade mínima de saídas só é especificada para saídas de pavimento, sob o título do item **4.5.3 Número de saídas** desta Norma. Não há exigências de número mínimo de saídas nos compartimentos de um mesmo pavimento em função da população do local. Tal exigência seria importante para compartimentos com concentração considerável de pessoas, pois a obstrução de uma saída pode ser fatal. Uma vez que uma série de exigências é realizada para compartimentos com população superior a 50 pessoas em demais itens da Norma (comentadas a seguir), talvez este fosse um valor de referência também para número mínimo de saídas de compartimento.

O número mínimo de saídas (de pavimento) é, segundo o item 4.5.3.1 da norma brasileira, determinado na Tabela 7 do seu Anexo, em função do tipo de ocupação, da altura, dimensões do pavimento e características construtivas das edificações. No item 4.5.3.2, excepcionalmente, admite-se saída única para habitações multifamiliares com até quatro unidades autônomas por pavimento. Também é admitida, nesta mesma tabela, uma única saída para grande parte dos edifícios térreos (tipo K) até edifícios de média altura (tipo M: até 12,0 m) com área igual ou inferior a 750 m², com pequenas exceções para centros esportivos, hospitais e outros locais de reunião de público. Porém, dentre uma das questões que deveriam ser revisadas está a exigência mínima atual de apenas uma escada para edifícios de escritórios (Grupo D) medianamente altas (tipo N: 12,0 a 30,0m) e altas (tipo O: mais que 30,0m)) com área igual ou inferior a 750 m². Não proporcionar alternativa de fuga de pavimento para estes casos parece também ser temeroso.

5.1.2.5 Características das portas

O item **4.5.4, Portas**, da Norma se refere às portas de saída em rotas de fuga e determina, por exemplo, que portas em rotas de saída e de saída de salas com capacidade superior a 50 pessoas devem ter abertura na direção do fluxo de saída (item 4.5.4.1). Em salas com capacidade superior a 200 pessoas e *“nas rotas de saída de locais de reunião com capacidade acima de 200 pessoas, as portas de comunicação com os acessos, escadas e descarga devem ser dotadas de ferragem do tipo antipânico, conforme NBR 11785”* (item 4.5.4.6).

Além disso, permite que as portas instaladas em rotas de saída tenham redução de sua largura (vão de luz) conforme seguinte critério: 80 cm, para uma unidade de passagem; 100 cm, para duas unidades de passagem; e 150 cm, para três unidades de passagem (item 4.5.4.2). Assim, uma porta instalada num corredor com largura calculada de 2 unidades de passagem (1,10m), deve ter, no mínimo, 1,00m de largura (vão de luz). Portas com largura acima de 2,2m devem ter coluna central.

As portas de acesso a antecâmaras, áreas de refúgio e escadas de emergência, devem ser do tipo corta-fogo, *“providas de dispositivos mecânicos e automáticos, de modo a permanecerem fechadas, mas destrancadas no sentido do fluxo de saída, sendo*

admissível que se mantenham abertas, desde que disponham de dispositivo de fechamento, quando necessário” (item 4.5.4.4).

Observa-se que a norma brasileira *NBR 11742 – Portas corta-fogo para saídas de emergência*, (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003) que traz todas as características necessárias às portas a serem usadas em rotas de fuga é citada apenas uma vez, no item 4.5.4.3. Porém, muitas das características das portas, descritas na Norma, poderiam ser suprimidas simplesmente com a citação à conformidade à NBR 11742.

Adicionalmente, proíbe-se o uso de peças plásticas nas ferragens (fechaduras, espelhos, maçanetas, dobradiças e outros) das portas em rotas de fuga, em entrada de unidades autônomas e salas com capacidade superior a 50 pessoas (item 4.5.4.7). Permite-se, para segurança contra intrusão, que as portas de saída tenham abertura pela face externa apenas por meio de chave, desde que a abertura pela face interna, na direção da saída, seja possível sem a necessidade de chave (item 4.5.4.8).

5.1.2.6 Características dos corredores

Como já visto anteriormente, a largura mínima de saídas horizontais e verticais (corredores e escadas) é de 1,10m (duas unidades de passagem) para ocupações em geral e de 2,20 m para ocupações do grupo H, divisão H-3 (hospitais). Exigências construtivas são fixadas no item 4.4.3 da Norma, relativas à garantia da manutenção da largura das saídas em geral (obstáculos, saliências, direção de abertura de portas, etc.).

Nos itens 4.5.1.1 e 4.5.1.2 da Norma, também são estipuladas condições adicionais para garantir a segurança no uso de rotas de fuga horizontais e verticais. Porém, não há nenhum requisito relativo ao desempenho de materiais de revestimento ou acabamento de corredores que compõem as rotas de fuga. Já para escadas, uma série de exigências é estabelecida nesta Norma (vide item 4.1.2.7 a seguir).

5.1.2.7 Características das rampas

O **item 4.6** da Norma contempla os requisitos construtivos e dimensionais para rampas para saída de emergência. Além disso, estabelece que o uso de rampas é obrigatório nos seguintes casos:

- Para unir dois pavimentos de diferentes níveis em acessos a áreas de refúgio em edificações com ocupações dos grupos H-2 (asilos, orfanatos, etc.) e H-3 (hospitais);
- Na descarga e acesso de elevadores de emergência;
- Sempre que a altura a vencer for inferior a 0,48m, já que são vedados lanços de escadas com menos de três degraus;
- Quando a altura a ser vencida não permite o dimensionamento equilibrado dos degraus de uma escada;
- Para unir o nível externo ao nível do saguão térreo das edificações em que houver usuários de cadeiras de rodas (a Norma recomenda consultar a NBR 9050).

Todo o item **4.6.2 – Condições de atendimento** que trata de detalhes construtivos para rampas e **4.6.3 – Declividade** poderiam ser substituídos por uma referência à **NBR 9050 – Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos**, pois atualmente todos os seus requisitos estão incompatíveis com os da referida norma que já sofreu revisões para adequação aos padrões internacionais..

5.1.2.8 Características das escadas

As características dimensionais e construtivas das escadas são apresentadas no **item 4.7 -Escadas**. No item 4.7.1, são tratados os requisitos relativos: à resistência ao fogo dos elementos estruturais e de vedação; e à reação ao fogo dos materiais de revestimento dos pisos e aos acessórios para uso com segurança (guardas e corrimãos são especificamente tratados no item 4.8). No item 4.7.2, é estabelecida a tolerância na largura das escadas. No item 4.7.3, são definidos os critérios para dimensionamento dos degraus (fórmula de Blondel) e patamares. Em relação ao dimensionamento de degraus, verifica-se uma particularidade que é a obrigatoriedade do “*bocel (nariz) de 1,5cm, no mínimo*”, ou um “*balanço da quina do degrau sobre o imediatamente inferior com este mesmo valor mínimo*” (vide Figura 5.3).

Figura 5.3 – Detalhes do bocel.

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (1993, p.9).

É importante também ressaltar que o item 4.7.3.2 determina que o lanço mínimo deve ser de três degraus – o que impediria o projeto de escadas com um ou dois degraus intermediários no meio de patamares de escadas. Já no item 4.7.4 são determinadas as características de uso e acabamento das caixas das escadas.

Dentre os tipos de escadas para saída de emergência contemplados nesta Norma estão os abaixo descritos:

- Escadas enclausuradas protegidas (EP) (item 4.7.10): são escadas enclausuradas por paredes resistentes ao fogo (2 horas) e com acesso apenas por portas corta-fogo (30 minutos) ventiladas por janelas abertas para o espaço livre exterior e dotadas de alçapão de alívio de fumaça no término superior;
- Escadas enclausuradas à prova de fumaça (PF) (item 4.7.11): são escadas enclausuradas protegidas antecedidas de antecâmaras ventiladas (indiretamente, por dois dutos), terraços ou balcões (ventilados diretamente pela fachada) nos pavimentos, acessadas por meio de portas corta-fogo (30min);
- Escadas à prova de fumaça pressurizada (PFP) (item 4.7.15): são escadas enclausuradas à prova de fumaça onde a pressurização mecânica substitui a ventilação natural, dispensando as antecâmaras. Neste item, em específico, o texto poderia ser substituído pela simples citação à **NBR 14880 – Saídas de**

emergência em edifícios – Escadas de segurança – Controle de fumaça por pressurização.

Figura 5.4 – Escada enclausurada protegida.

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (1993, p.13).

Figura 5.5 – Escada enclausurada à prova de fumaça (planta).

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (1993, p.15, adaptada pela autora desta tese).

Figura 5.6 – Cortes AA e BB, dos dutos de ventilação da Figura anterior.

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (1993, p.16, adaptada pela autora desta tese).

Este conjunto de tipos de escadas são as que efetivamente contribuem para a segurança no abandono de edificações de múltiplos pavimentos, além da escada “não enclausurada”, que é mencionada na Tabela 7 do Anexo da Norma, mas não é citada e nem particularmente especificada no corpo da Norma. Mas é evidente que, a menos dos requisitos relativos ao seu enclausuramento, os demais (construtivos e de dimensionamento) são aplicáveis às escadas não enclausuradas.

As demais escadas que são descritas na Norma são as seguintes:

- Escadas não destinadas a saídas de emergência (item 4.7.5), onde são enumerados requisitos dimensionais e construtivos para garantir a segurança de uso das mesmas no dia-a-dia (prevenir acidentes);

- Escadas em edificações em construção (item 4.7.6), onde se comenta da necessidade das escadas do edifício serem construídas na execução da estrutura da obra, para permitir a fuga dos operários da obra e acesso dos bombeiros, a menos que outros sistemas alternativos sejam proporcionados;
- Escadas em edificações com população total inferior a 50 pessoas (item 4.7.7), onde se permitem escadas com largura inferior à mínima de 1,10m, porém, sempre igual ou superior a 0,90m, são enumerados requisitos dimensionais e construtivos para garantir a segurança de uso das mesmas em caso de emergência;
- Escadas com lanços curvos (item 4.7.8), admitidas como saída de emergência em algumas situações excepcionais;
- Escadas com lanços mistos (item 4.7.9), admitidas como saída de emergência em algumas situações excepcionais.

Os demais tipos de escadas descritos acima não deveriam ser apresentados no corpo da Norma, uma vez que tratam de casos excepcionais ou especiais. Exceções deveriam ser incluídas num Anexo da Norma, se for o caso.

5.1.2.9 Corrimãos e guardas

Guarda-corpos e corrimãos são elementos complementares das rotas de fuga que exercem papel importante na garantia da segurança de uso delas.

Guarda-corpos são elementos contínuos de proteção contra queda, instalados em corredores, balcões, terraços, mezaninos, galerias, patamares, escadas, rampas, etc., sempre que houver desnível superior a 19 cm e ausência de parede, ao longo de rotas de fuga, devendo ter altura mínima de 1,05 m ao longo de patamares, corredores, mezaninos, etc. (vide Figura 5.7). Essa dimensão pode ser reduzida a 0,92 m em escadas internas e deve ser de 1,30 m, no mínimo, em escadas externas, patamares e balcões externos quando numa altura superior a 12,0m do solo. (item 4.8.1). O item 4.8.1.4 especifica as características dos elementos e materiais que podem compor guarda-corpos vazados e o item 4.8.3 define as exigências estruturais (vide Figura 5.8).

Figura 5.7 – Dimensões de guardas e corrimãos.

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (1993, p.17).

Figura 5.8 – Detalhes construtivos de guardas.

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (1993, p.19).

Os corrimãos são elementos de apoio e guia, para o uso em escadas e devem estar situados entre 0,80m e 0,92m, ter largura entre 38 e 65mm, estar afastados de 40mm a 50mm da parede e com fixação pela sua parte inferior (vide Figura 5.9).

Figura 5.9 – Dimensões e detalhe de fixação de corrimão.

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (1993, p.18, adaptada pela autora desta tese).

Corrimãos intermediários são exigidos para escadas e rampas com largura superior a 2,20m. Porém, a Norma não faz nenhuma referência clara à continuidade dos corrimãos e ao detalhe em seu término (finalização das extremidades). Estas dimensões deveriam ser compatibilizadas com a da norma **NBR 9050 – Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos, que também trata do tema.** A NBR 9050 fixa a altura de 0,92m para escadas e, para rampas, duas alturas: 0,92m e 0,70m. A segunda altura (0,70m) é facultativa para escadas. As demais medidas (largura entre 30 e 45mm e distância da parede de 40mm, no mínimo, corrimãos intermediários em escadas e rampas com largura superior a 2,40m) também deveriam ser compatibilizadas. Detalhes importantes como a extensão do corrimão por 0,30m além do fim do desnível, assim como o término com curvatura voltada para a parede, não são citadas na Norma em análise.

Por outro lado, a própria NBR 9050 faz referência à NBR 9077, quando o requisito é altura e detalhes construtivos de guarda-corpo, assim como exigências estruturais para guardas e corrimãos. Estas interfaces existentes nos requisitos mencionados requerem um trabalho de compatibilização entre as referidas normas brasileiras.

5.1.2.10 Elevadores de emergência

O **item 4.9** desta Norma trata de elevadores de emergência e determina sua instalação em todas as edificações com mais de 20 pavimentos, com exceção das classes G-1 (garagem sem acesso ao público) e F-2 (templos e auditórios), e especificamente nas ocupações H-2 (asilos, orfanatos, etc.) e H-3 (hospitais) com altura superior a 12,0m

(medido do piso de saída ao último superior piso ocupado). Porém, a Norma não define os objetivos desses elevadores, nem o seu número mínimo em função do tipo de uso, altura ou área da edificação.

Requisitos construtivos e de funcionamento para garantir o uso seguro deste equipamento em situação de emergência são enumerados no item 4.9.2 da Norma, no entanto, entende-se que necessária a elaboração de uma norma brasileira sobre o assunto, consirando, inclusive a forma de uso, que deve ser compatível com a estratégia de abandono do edifício.

5.1.2.11 Área de refúgio

O conceito de área de refúgio é definido no **item 4.10**, assim como os requisitos construtivos e a aplicação deste requisito nas edificações. Área de refúgio é, segundo o item 4.10.1.1 da Norma, *“parte de um pavimento separada do restante por paredes corta-fogo e portas corta-fogo, tendo acesso direto, cada uma delas, a uma escada de emergência”* (vide Figura 5.10).

Figura 5.10 – Planta esquemática de área de refúgio.

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (1993, p.21).

Esta área deve ter resistência ao fogo de 4 horas e seria obrigatória em edifícios institucionais H-2 (asilos, orfanatos, abrigos geriátricos, etc.) e H-3 (hospitais e assemelhados), com altura superior a 6,0m e em edifícios H-1 (hospitais veterinários e assemelhados), H-2 e E (uso educacional e afins), quando tiver dimensão em planta superior a 5000 m². É compreensível a exigência para edifícios dos grupos H-2 e H-3, porém, não para os edifícios do grupo H-1. O item 4.10.1.3 estabelece que as larguras

das saídas de emergência podem ser reduzidas em 50% quando houver áreas de refúgio na edificação. No entanto, não há clareza quanto às dimensões mínimas para as áreas de refúgio em função de algum parâmetro como área ou população, nem sobre a necessidade destas áreas serem de uso exclusivo para esta finalidade. Também não há definição da necessidade de condições de suporte de vida para o caso de edifícios hospitalares, nem sobre a necessidade de atendimento aos requisitos mínimos de proteção contra incêndio (sistemas de extintores, alarmes, hidrantes, iluminação de emergência, comunicação de emergência, etc.) destas áreas. Tal situação dificulta o dimensionamento e a instalação das áreas de refúgio.

5.1.2.12 Piso de descarga

O **item 4.11** da Norma define “descarga” como parte da saída de emergência de uma edificação que fica entre a escada e a via pública; ou área externa em comunicação com a via pública, que pode ser constituída por: a) corredor ou átrio enclausurado; b) área em pilotis ou; c) corredor a céu aberto. Para estes três casos, a Norma especifica uma série de requisitos construtivos nos itens 4.11.1.2, 4.11.1.4 e 4.11.1.5, para garantir um piso de descarga seguro.

Para o dimensionamento do piso de descarga (item 4.11.2), devem ser consideradas todas as saídas horizontais e verticais que para ela convergirem e a largura das descargas não pode ser inferior às larguras mínimas definidas pela Norma e nem às larguras mínimas calculadas conforme o item 4.4 da mesma (vide exemplo Figura 5.11).

Figura 5.11 – Largura de corredores no piso de descarga.

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (1993, p.22).

O item 4.11.3 trata das condições construtivas para que elevadores dêem acesso direto ao piso de descarga, que inclui a instalação de portas (de abertura no andar) resistentes ao fogo e poços com ventilação em sua parte superior. Além disso, caso estes elevadores sirvam pavimentos inferiores ao da descarga, devem ter acesso, nestes pisos, somente por meio de antecâmaras enclausuradas e ventiladas naturalmente. Exceções a estas exigências são apresentadas no item 4.11.3.3 da Norma. Nota-se que a maioria das situações se encaixa nas “exceções”, uma vez que estas não delimitam condições dimensionais claras, como proporção ou área de ventilação, para se definir áreas de “garagens amplamente ventiladas”.

Esta Norma também exige que o acesso de outros ambientes no mesmo piso, como galerias comerciais, ao piso de descarga se dê por meio de antecâmara enclausurada e ventilada (vide Figura 5.12).

Figura 5.12 – Planta esquemática de acesso de galeria comercial à descarga.

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (1993, p.22).

5.1.2.13 Sistemas complementares

Adicionalmente, esta Norma brasileira se refere à necessidade da instalação dos seguintes sistemas de proteção contra incêndio (**item 4.12**), para complementar o projeto de saídas de emergência, em função do tipo de ocupação da edificação, das características construtivas e de área e altura:

- Alarme de incêndio (item 4.12.1);
- Comunicação de emergência (item 4.12.1);

- Iluminação de emergência de rotas de saída (item 4.13.1 e 4.13.2); e
- Sinalização de emergência (item 4.13.3).

5.1.2.14 Condições específicas

No **item 5 – Condições específicas**, a Norma brasileira ainda aponta mais algumas informações particulares, a saber:

- Item 5.1 – Acessibilidade: rotas de fuga sem obstáculos físicos e com acessibilidade atendida conforme a norma brasileira NBR 9050;
- Item 5.2 – Exigências adicionais para ocupação de pisos enterrados e edificações sem janelas.

5.2 Instrução Técnica Nº 11/2004- Saídas de emergência – Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo (IT 11)

Esta Instrução Técnica Nº 11 (IT 11) está em sua segunda versão (2004), sendo que a primeira foi lançada em 2001, logo após a promulgação do Decreto Estadual Nº 46.076 de 31 de agosto de 2001, que institui “*o Regulamento de Segurança contra Incêndio em edificações e áreas de risco para os fins da Lei Nº 684 de 30 de setembro de 1975 e estabelece outras providências*” (SÃO PAULO, 2005). Nesta ocasião, foram editadas as 38 Instruções Técnicas que complementam os requisitos de segurança contra incêndio do referido regulamento.

5.2.1 Requisitos e Critérios de dimensionamento

Esta Instrução Técnica Nº 11 (SÃO PAULO, 2005) tem como estrutura e conteúdo básico a norma brasileira NBR 9077 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993), com ajustes que o corpo técnico do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo considerou necessários, com base na experiência acumulada no exercício de análise e aprovação de projetos de proteção contra incêndio.

Assim, a IT 11 tem também como base de dimensionamento das saídas de emergência o conceito de **unidades de passagem**. Devido à semelhança desta à norma

brasileira, pretende-se, nesta parte, ressaltar apenas as diferenças entre estes dois documentos técnicos e suas implicações.

5.2.1.1 Cálculo da população

Para o cálculo da população (**item 5.3** da IT 11), é necessário, primeiramente, consultar a Tabela 1 do Anexo do Decreto Estadual No 46.076/2001 (SÃO PAULO, 2005, p.17), que trata da classificação das edificações e áreas de risco quanto à ocupação, utilizada definir para todas as exigências de segurança contra incêndio do referido decreto. Esta tabela é muito semelhante à Tabela 1 do Anexo da norma NBR 9077, apresentando algumas diferenças nas divisões de alguns grupos de ocupação e um acréscimo de grupos, como o grupo L (Explosivos) e M (Especial).

Já a densidade populacional atribuída por tipo de ocupação é dada na terceira coluna da Tabela 4 da própria Instrução Técnica (IT), em condições similares à Tabela 5 da norma brasileira, com a diferença no Grupo C, que passa de uma pessoa por 3m² de área (NBR 9077) para uma pessoa por 4m² de área (IT 11) e acréscimo de dados para os grupos L e M.

No cálculo da população, as mesmas considerações da norma brasileira, em relação à exclusão de terraços, sacadas e assemelhados, da área total de pavimento são encontradas.

5.2.1.2 Cálculo da largura das saídas

O cálculo da largura das saídas segue o critério definido na norma brasileira no item 5.4.1 da IT 11, porém, algumas diferenças são encontradas ao se estabelecer larguras mínimas, como segue:

- Largura mínima passa de 1,10m (NBR 9077) para 1,20m (IT 11) para edificações em geral, porém, a unidade de passagem se mantém em 0,55m para larguras superiores ao mínimo;
- Largura mínima de 1,65m, correspondente a 3 unidades de passagem, é definida para escadas, acessos (corredores e passagens) e descarga, nas ocupações do grupo H, divisão H-2 (asilos, orfanatos, etc.) e H-3 (hospitais e assemelhados);

- Largura mínima de 1,65m é também definida para rampas, acessos às rampas e descarga das mesmas, nas ocupações do grupo H, divisão H-2;
- Largura mínima de 2,20m (4 unidades de passagem) para rampas, acessos e descargas de rampas, nas ocupações do grupo H, divisão H-3.

Verificam-se, neste caso, as seguintes diferenças: a NBR 9077 se limita a estipular a largura mínima de 2,20m para saídas do grupo H, divisão H-3 (para passagem de macas, camas e outros), além da largura mínima de 1,65m para o grupo F. As demais condições são idênticas às citadas na análise da norma brasileira no que se refere a este requisito.

5.2.1.3 Distância a percorrer até uma saída

As distâncias máximas a percorrer até atingir um local seguro (espaço livre exterior, área de refúgio, escada protegida ou à prova de fumaça) são determinadas no **item 5.5.2** da IT, com base na Tabela 5 do seu Anexo (valores idênticos à Tabela 6 da NBR 9077), em função das características construtivas da edificação, de acordo com a classificação da Tabela 3 do mesmo Anexo. No entanto, nesta IT, são definidas situações onde as distâncias a percorrer podem ter valor aumentado ou diminuído, em função de condições específicas. Por exemplo, em 5.5.2.2.1, quando o projeto de características do tipo “X” apresenta “planta livre”, sem arranjo físico interno, devem ser consideradas as distâncias diretas reduzidas em 30% e se, em edificações térreas dos grupos G-1 (garagem sem acesso público), G-2 (garagem com acesso público), I-1 (indústria de baixo risco), J-1 e J-2 (depósitos de baixo risco), as distâncias poderão ser acrescidas em 150% (item 5.5.2.5). Em relação à questão da redução de distância a percorrer em projetos de “planta livre”, na norma brasileira NBR 9077 consta que, se o edifício é de escritórios com área superior a 125m² sem divisórias ou com divisórias não resistentes ao fogo, o edifício deve ser considerado do tipo Y, portanto, a distância a percorrer também fica reduzida, em relação ao tipo X, em aproximadamente 30%.

Ainda em relação à Tabela 5 da IT 11, as distâncias máximas a serem percorridas não só consideram a instalação de chuveiros automáticos para aumentar esta distância, mas também levam em conta, igualmente, a instalação de sistema de detecção

automática (vide Tabela 5.4). Tal condição parece temerária, uma vez que o sistema de detecção automática pode apenas alertar para uma situação de incêndio enquanto que o sistema de chuveiros automáticos, além de alertar, também realiza o combate ao fogo, retardando o desenvolvimento do incêndio.

O item 5.5.2.2 da IT 11 esclarece, adicionalmente ao texto original da norma NBR 9077, que distância a percorrer deve ser medida *“a partir da porta de unidades autônoma mais distante, desde que o seu caminhamento interno não ultrapasse 10m”*.

Por outro lado, a classificação especificada na *Tabela 3 - Classificação das edificações quanto às suas características construtivas*, é melhor especificada na IT, com a clara definição de cada classe de edificação na própria Tabela, diferentemente da classificação na NBR 9077, que dilui parte do texto da definição da classificação no corpo da norma e na Tabela 6 do seu Anexo. Assim, quem consulta apenas a Tabela da norma brasileira não tem a compreensão integral desta classificação.

Tabela 5.4 – Distâncias máximas a serem percorridas (IT 11).

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

Fonte: São Paulo (2005, p.262).

Tabela 5.5 – Classificação das edificações quanto às suas características construtivas (IT 11).

Código	Tipo	Especificação
X	Edificações em que o crescimento e a propagação do incêndio podem ser fáceis e onde a estabilidade pode ser ameaçada pelo incêndio.	Edifícios onde pelo menos duas das três condições estão presentes: a) Não possuem TRRF, mesmo que existam condições de isenção na IT 08; b) Não possuam compartimentação vertical completa, de acordo com a IT 09, mesmo que existam condições de isenção no Decreto Estadual No. 46.076/01; c) Não possuam controle dos materiais de acabamento, de acordo com a IT 10, mesmo que existam condições de isenção no Decreto Estadual No. 46.076/01 ou na própria IT 10.
Y	Edificações onde um dos três eventos é provável: a) Rápido crescimento do incêndio; b) Propagação vertical do incêndio; c) Colapso estrutural.	Edifícios onde apenas um das três condições está presente: a) Não possuam TRRF, mesmo que existam condições de isenção na IT 08; b) Não possuam compartimentação vertical completa, de acordo com a IT 09, mesmo que existam condições de isenção no Decreto Estadual No. 46.076/01; c) Não possuam controle dos materiais de acabamento, de acordo com a IT 10, mesmo que existam condições de isenção no Decreto Estadual No. 46.076/01 ou na própria IT 10.
Z	Edificações concebidas para limitar: a) O rápido crescimento do incêndio; b) A propagação vertical do incêndio; c) Colapso estrutural.	Edifícios onde nenhuma das três condições abaixo está presente: a) Não possuam TRRF, mesmo que existam condições de isenção na IT 08; b) Não possuam compartimentação vertical completa, de acordo com a IT 09, mesmo que existam condições de isenção no Decreto Estadual No. 46.076/01; c) Não possuam controle dos materiais de acabamento, de acordo com a IT 10, mesmo que existam condições de isenção no Decreto Estadual No. 46.076/01 ou na própria IT 10.

Fonte: São Paulo (2005, p.260).

As características construtivas relacionadas na classificação em edificação tipo X, Y ou Z estão diretamente relacionadas a itens de Segurança Estrutural, Compartimentação e Reação ao Fogo dos materiais de acabamento. Estes itens, neste caso, são contemplados por Instruções Técnicas específicas (IT 08, IT 09 e IT 10, respectivamente), diferentemente do que acontece na NBR 9077, onde existem lacunas em relação a estes requisitos de desempenho.

5.2.1.4 Quantidade mínima de saídas

O item **5.5.3**, intitulado *Número de saídas nos pavimentos*, deixa claro que se estabelece, nesta parte da IT, apenas o número mínimo de saídas de pavimento, diferentemente do texto da NBR 9077. Os critérios apresentados na Tabela 6 do anexo da IT também são similares aos da norma brasileira (Tabela 7), havendo diferenças no número de saídas em alguns poucos casos. O caso mais gritante, apontado na análise da norma brasileira NBR 9077, se referia ao edifício de escritórios (Grupo D) medianamente

alto (12,0 a 30,0m) e alto (acima de 30,0m), onde a referida norma exigia apenas uma escada, no mínimo. Esta IT exige, para a mesma situação, pelo menos 2 escadas, estabelecendo, assim, a necessidade de saídas alternativas de pavimento para esta mesma situação.

O item 5.5.3.3 acrescenta que havendo mais de uma saída de pavimento, a distância mínima de trajeto entre as duas portas de acesso às saídas deve ser de, no mínimo, 10 m. Este requisito não existe na NBR 9077.

Neste documento, à similaridade da norma NBR 9077, não há definição sobre o número mínimo de saídas de compartimento em função da população do local.

5.2.1.5 Características das portas de saída

As portas são especificadas no item **5.5.4 Portas de saídas de emergência**, com texto similar ao da NBR 9077 (item 4.5.4), com a complementação de requisitos do texto original da referida norma.

A instalação de barra antipânico nas portas de saídas de emergência é exigida, neste caso, para ocupações do grupo F (locais de reunião de público) com capacidade superior a 100 pessoas. O texto também esclarece que as referidas portas são aquelas *“das salas, das rotas de saída, das portas de comunicação com os acessos às escadas e descarga”* (Item 5.5.4.6). Este texto é muito mais esclarecedor que o texto da norma brasileira (4.5.4.6) que estipula, além disso, a obrigação apenas para salas com capacidade superior a 200 pessoas. Porém, esta Instrução Técnica abre duas exceções em relação à necessidade de instalação de barras antipânico em portas de saída com abertura na direção da fuga em locais de reunião de público, especificadas em 5.5.4.6.1 (não instalar barra antipânico) e 5.5.4.6.2 (saída por portas de enrolar ou de correr). Infelizmente, a efetividade das saídas de emergência, nestes casos, depende, essencialmente, do compromisso do responsável pelo uso de que *“as portas permanecerão abertas durante a realização dos eventos”*.

No que se refere à largura das portas, esta IT acrescenta detalhes como: o vão de luz de 2,0m para quatro unidades de passagem, considerando que portas com largura superior a 1,2m devem ter duas folhas.

A Instrução Técnica cita, apropriadamente, no seu texto sobre portas, a conformidade das mesmas à NBR 11742 – Porta corta-fogo para saídas de emergência. Esta citação permitiria a supressão de alguns dos parágrafos que constam tanto da NBR 9077 como a IT 11.

Os demais itens apresentam texto idêntico à NBR 9077.

5.2.1.6 Características dos corredores

Esta Instrução Técnica também não trata, especificamente, das características dos elementos construtivos que constituem os corredores. Porém, no caso da regulamentação estadual à qual está vinculada, existe a IT-10 – Controle de Materiais de Acabamento e Revestimento, que contempla esta questão.

5.2.1.7 Características das rampas

As rampas, quando utilizadas como saída de emergência, devem atender aos requisitos do item 5.6 da Instrução Técnica, que contempla todo o conteúdo do item 4.6 da norma brasileira, acrescentando alguns requisitos, a saber:

- No item 5.6.2.6 é estabelecido que o coeficiente de atrito dinâmico dos pisos antiderrapantes das rampas deve ser de, no mínimo, 0,5 e permanecer antiderrapante durante o uso;
- No item 5.6.2.8, ao citar exigências de sinalização e iluminação de emergência, faz-se referência às respectivas Instruções Técnicas (IT 19 e IT 20);
- As rampas utilizadas como saídas de emergência devem atender às condições mínimas de segurança de uso estipuladas para a situação de escadas de segurança (item 5.6.2.9), devendo ser classificadas similarmente, como não enclausurada (NE), protegida (EP) e à prova de fumaça (PF), seguindo as condições específicas para cada uma das situações (item 5.6.2.10).

Em relação à declividade da rampa e outros requisitos construtivos, cabe ressaltar a necessidade de adequação, ou simplesmente a citação para adequação à NBR 9050.

5.2.1.8 Características das escadas

As características dimensionais e construtivas das escadas são apresentadas no **item 5.7 Escadas**, com algumas adaptações no texto original da NBR 9077. No item **5.7.1 Generalidades**, houve acréscimo de detalhes sobre o piso de descarga para escadas comuns (NE – não enclausuradas) e de requisito de piso antiderrapante (coeficiente de atrito dinâmico de 0,5). Neste mesmo item, as Instruções Técnicas correlatas são citadas, conforme são estabelecidos os requisitos de desempenho de materiais, componentes e sistemas de proteção passiva.

Outro requisito de desempenho importante definido nesta IT, tanto para caixas de escadas (5.7.4.4) como pontos de fixação das escadas metálicas na caixa de escada (5.7.4.5), é o tempo de resistência ao fogo destes elementos (mínimo de 120min).

Ao longo do item 5.7, esta IT também aumenta a exigência do tempo de resistência ao fogo de portas corta-fogo em escadas, a saber:

- Porta corta-fogo de acesso à escada enclausurada protegida (EP): de 30 min para 90 min; e
- Porta corta-fogo de acesso às escadas, antecâmaras ventiladas, terraços ou balcões de escadas enclausuradas à prova de fumaça (PF): de 30 min para 60 min.

A alteração mais significativa está na supressão integral dos itens **4.7.7 Escadas em edificações com população total inferior a 50 pessoas**, **4.7.8 Escadas com lanços curvos** e **4.7.9 Escadas com lanços mistos** da norma brasileira. Fica evidente que a IT-11 não admite que escadas coletivas para populações inferiores a 50 pessoas (com dimensões menores) ou em lanços curvos ou mistos sejam consideradas como rotas de saída. A supressão parcial do item **4.7.15 Escadas à prova de fumaça pressurizada (PFP)** se justifica pois, os parágrafos referentes aos requisitos técnicos relativos à pressurização foram substituídos por uma referência à IT 13 – Pressurização de Escadas de Segurança. O acréscimo do item **5.7.7 Escadas não enclausuradas ou escada comum (NE)** era necessário, pois a adoção desta escada é especificada na Tabela 6 da IT (ou Tabela 7 da NBR 9077), sem que houvesse uma clara definição dos seus detalhes

dimensionais e construtivos no texto original (NBR 9077). O acréscimo do item **5.7.14 Escada aberta externa (AE)** amplia o leque de opções de escada de segurança, podendo viabilizar interessantes alternativas de projeto. Os requisitos de segurança para a escada aberta externa apresenta forte semelhança àqueles determinados para este tipo de escada no Código de Obras e Edificações do Município de São Paulo, objeto de análise ainda neste capítulo.

Outros requisitos adicionais relativos, principalmente, a detalhes construtivos não mencionados aqui são idênticos aos apresentados na análise da norma NBR 9077.

5.2.1.9 Corrimãos e guardas

Os requisitos para guarda-corpos e corrimãos da norma brasileira são repetidos integralmente na IT-11, com o acréscimo de uma parágrafo nesta última, a saber:

- 5.8.2.6 *Para auxílio dos deficientes visuais, os corrimãos das escadas deverão ser contínuos, sem interrupção nos patamares, prolongando-se, sempre que for possível, pelo menos 0,20m do início e término da escada com suas extremidades voltadas para a parede ou com solução alternativa.*

A distância do prolongamento do corrimão ainda permanece incompatível com a NBR 9050 que exige, pelo menos, 0,30m, ao invés de 0,20m.

5.2.1.10 Elevadores de emergência

Os elevadores de emergência são exigidos no item 5.9 da IT 11 para todas as edificações residenciais A-1 e A-2 com altura superior a 80m e nas demais ocupações com altura superior a 60m, com exceção das classes G-1 e F-2. A diferença em relação à norma brasileira é que esta última exige a instalação do equipamento para qualquer edificação com mais de 20 pavimentos, com exceção das classes G-1 e F-2. Nos dois documentos técnicos o equipamento é obrigatório nas ocupações H-2 e H-3 com altura superior a 12,0m.

Na IT, foram acrescentadas as seguintes exigências:

- o elevador de emergência deve ser ligado a um grupo moto gerador de emergência instalado na edificação (alínea d do item 5.9.2.1);

- a caixa (poço) deve ter abertura para ventilação permanente em sua parte superior (item 5.9.2.4); e
- o elevador deve atender todos os pisos, inclusive os localizados abaixo da descarga com altura ascendente superior a 12m (item 5.9.2.5).

Cabe, novamente, ressaltar a necessidade de uma norma brasileira que trate especificamente do assunto e também a falta de definição do número mínimo de elevadores de emergência, em função do tipo de ocupação, altura ou área da edificação e da estratégia de abandono do edifício.

5.2.1.11 Área de refúgio

No item 5.10, que trata de área de refúgio na IT, verifica-se a supressão do item 4.10.1.3 da norma, que trata de redução das larguras de saídas de emergência, quando houver área de refúgio.

Áreas de refúgio são obrigatórias em todos os pavimentos das ocupações E-5 (Pré-escola), E-6 (escola para portadores de deficiências), H-2 (asilos, orfanatos, abrigos geriátricos, hospitais psiquiátricos, etc.) e H-3 (hospital e assemelhado) com altura superior a 12,0m (e não de 6,0m da NBR 9077), sendo que a área mínima de refúgio de cada pavimento deve ser 30% da área do pavimento, não podendo ser superior a 2000m² nas ocupações H-2 e H-3. Aparentemente, o equívoco da norma, no que se refere às ocupações que requerem área de refúgio foi corrigido nesta IT. Permanecem algumas lacunas, referentes aos requisitos de segurança (suporte de vida para o caso de edifícios hospitalares) para estas áreas e a forma de dimensionamento das mesmas, em função da população a ser abrigada.

5.2.1.12 Piso de descarga

O item 5.11 da IT 11 trata dos detalhes construtivos e de dimensionamento do piso de descarga, mantendo o texto da norma brasileira com as seguintes modificações:

- Para exigências de resistência ao fogo das paredes e de reação ao fogo dos materiais de revestimento e acabamento, devem ser atendidas a IT 08 e IT 10, respectivamente (alíneas a e b de 5.11.1.2);

- As portas corta-fogo devem ter resistência de 90 minutos (e não de 30min da NBR 9077) (Alinea c de 5.11.1.2)
- Admite-se a ocupação do saguão ou hall térreo não enclausurado, a ser utilizado para descarga, por portaria, sala de espera, recepção, sala de estar e salão de festas (5.11.1.3);
- O elevador de emergência pode descarregar no hall de descarga, desde que se some uma largura de uma unidade de saída à descarga (5.11.1.5);
- A largura da descarga não pode ser inferior a 1,2m nos edifícios em geral, 1,65m e 2,2m nas edificações dos grupos H-2 e H-3 (alínea a do 5.11.2.2), onde na norma, as larguras mínimas são de 1,1m para edifícios em geral e 2,20m para H-2 e H-3.

5.2.1.13 Sistemas complementares

Esta IT faz referência a dois itens do sistema de proteção contra incêndio complementares as saídas de emergência, a saber:

- Iluminação de emergência (item 5.12.2), fazendo referência à IT 18- Iluminação de Emergência;
- Sinalização de emergência (item 5.12.3), fazendo referência à IT 20- Sinalização de emergência.

5.2.1.14 Condições específicas

Itens específicos são tratados no final desta IT, sendo que alguns são textos integralmente novos, e outros tratam de assuntos similares à norma NBR 9077.

Os textos adicionais, novos e exclusivos desta IT em relação à NBR 9077 são os seguintes:

- Item **5.13** – *Acesso de guarnições de bombeiros na edificação e áreas de risco por meio de ponto de ancoragem*: que trata sobre dispositivo específico destinado a ancoragem de cordas para retirada de vítimas e acesso de bombeiros pela fachada, a ser instalado em edificações elevadas (altura superior a 23m);

- Item **5.16** – *Exigências para edificações construídas anterior a 11 de março de 1983*: que trata da adaptação dos edifícios existentes, construídos anteriormente à data mencionada, às condições mínimas de segurança para abandono em caso de emergência.

Os textos similares à norma tratam de:

- Item **5.14** – *Acesso sem obstáculos* (sem alteração);
- Item **5.15.1** – *Construções subterrâneas ou subsolos* (sem alteração);
- Item **5.15.2** – *Edificações sem janelas* (sem alteração);
- Item **5.15.3** – *Exigências especiais para construções subterrâneas, subsolos e edificações sem janelas* (houve alteração significativa no conteúdo de suas alíneas).

5.3 Código de Obras e Edificações do Município de São Paulo – Lei Municipal nº 11.228/1992 (Anexo I - Capítulo 12) e Decreto Municipal nº 32.329/1992 (Anexo 12)

5.3.1 Breve histórico

Como já comentado anteriormente, o Código de Edificações (Lei Municipal nº 8.266/1975) foi a primeira regulamentação edilícia municipal de São Paulo a contemplar amplamente as questões de segurança contra incêndio para edificações. Porém, é importante lembrar que no ano anterior, o Decreto Municipal nº 10.878 foi publicado em 07 de fevereiro, como resposta imediata à tragédia do edifício Joelma, ocorrida no dia 1º deste mesmo mês.

O Decreto Municipal nº 10.878 de 7 de fevereiro de 1974 instituiu “[...] *normas especiais para a segurança dos edifícios, a serem observadas na elaboração dos projetos e na execução, bem como no equipamento e no funcionamento, e dispõe ainda sobre sua aplicação em caráter prioritário*” (HIRSCHFELD, 1982, p.203).

Este Decreto Municipal apresentava, no seu Artigo 1º (HIRSCHFELD, 1982, p.203), um breve escopo do conteúdo abordado, parcialmente transcrito a seguir:

Art. 1º As edificações que vierem a ser construídas, ampliadas, reconstruídas ou reformadas, qualquer que seja a finalidade de seu uso, devem apresentar os requisitos e dispor dos equipamentos considerados indispensáveis para garantir o mínimo de segurança aceitável para sua utilização, na forma a seguir estabelecida.

§ 1º Os prédios existentes cuja continuação de uso for considerada perigosa nas condições atuais, deverão ser adaptados às exigências especialmente consignadas para tais casos.

§ 2º [omitido pela autora desta tese]

§ 3º Os tópicos essenciais abrangidos e os incisos que lhes correspondem ficam distribuídos pelas seções seguintes:

Seção A – Classificação das Edificações;

Seção B – Características dos Materiais Depositados ou Manipulados;

Seção C – Lotação dos Edifícios;

Seção D – Acesso e Escoamento dos Edifícios;

Seção E – Disposições Internas para Segurança;

Seção F – Particularidades Construtivas e Dimensionamento para Resistência ao Fogo;

Seção G – Tipos de Acabamento Interno;

Seção H – Suprimento de Água para Combate ao Fogo;

Seção I – Equipamentos de Energia e Sinalização;

Seção J – Extintores;

Seção K – Pára-raios;

Seção L – Escadas de Emergências em Edifícios Existentes.

Assim, já neste Decreto é estabelecida a necessidade de atendimento às condições mínimas de segurança tanto para edifícios novos como para edifícios existentes, assim como ficam definidos os parâmetros técnico-construtivos para que este objetivo fosse atingido. Este Decreto teve efeito sobre as edificações novas e existentes até a promulgação do Código de Edificações, Lei municipal nº 8.266/1975 (HIRSCHFELD, 1982).

O Código de Edificações foi aprovado em 20 de junho de 1975 e parte do conteúdo do Decreto Municipal nº 10.878/1974 foi incorporado a esta lei, no Capítulo II

do Título A da Parte A, sob o título “Circulação e segurança” (artigos 23 a 48). O Capítulo II, assim, determina as condições mínimas de segurança contra incêndio a serem atendidas pelas edificações novas. No que se refere às edificações existentes, o parágrafo 1º do artigo 563 desta lei determina que aquelas que “[...] implique(m) em perigo para os usuários ou para o público, deverão ser adaptadas às exigências de segurança previstas na legislação, para que possam ser utilizadas.” (HIRSCHFELD, 1982, p.190). Entende-se que a legislação referida passa a ser o próprio Código de Edificações, complementado pela Seção L do Decreto Municipal nº 10.878/1974, que trata especificamente de *Escadas de emergência em edifícios existentes*.

Em 1992, uma nova regulamentação edilícia é sancionada para o município de São Paulo, a Lei 11.288 de 25 de junho, seguida de complementação por meio do Decreto 32.329 de 23 de setembro do mesmo ano. A nova regulamentação passou a ser denominada Código de Obras e Edificações (COE) do Município de São Paulo (BOTELHO; FREITAS, 2008), e aborda a questão da segurança contra incêndio para edificações novas no Capítulo 12 (Circulação e Segurança) da lei e no Anexo 12 (Circulação e Segurança) do decreto. Já o Anexo 17 deste mesmo decreto trata especificamente da *Adaptação das edificações existentes às condições mínimas de segurança*.

Uma das principais alterações trazidas por esta regulamentação, no que se refere às questões de segurança contra incêndio, está no novo método de dimensionamento das saídas de emergência, assim como nos novos valores (densidade) utilizados para o cálculo da lotação.

5.3.2 Requisitos e Critérios de dimensionamento

A leitura e análise do Decreto Municipal nº 10.878/1974 e da Lei Municipal nº 8.266/1975 auxiliam na compreensão da origem de uma série de exigências que constam no Código de Obras e Edificações (COE) atualmente vigente. Muitos dos requisitos e parâmetros que foram definidos nas regulamentações anteriores são adotados pelo COE, porém, a sua forma de apresentação atual, muitas vezes, dificulta o entendimento dos conceitos que os originaram.

No tocante, especificamente, ao dimensionamento das saídas de emergência, verifica-se que, apesar da alteração na forma de cálculo, mantém-se o conceito de “unidade de saída... *aquela com largura não inferior a 0,60m*” que consta no artigo 5º do Decreto Municipal nº 10.878/1974, ainda que com sua fragmentação em “módulos de 0,30m”. Os valores de taxa de escoamento, atualmente denominados “K”, também são mantidos: “[...] *e permite em escada o escoamento de 45 pessoas por minuto; admite-se a passagem horizontal com essa largura mínima (corredor ou porta), permite o escoamento de 60 pessoas nesse mesmo período*”.

As seguir, são apresentadas as principais considerações do COE, quanto às saídas de emergência, que constam do Capítulo 12 da lei municipal e do Anexo 12 do decreto municipal que constituem o Código de Obras e Edificações do Município de São Paulo (BOTELHO; FREITAS, 2008) atualmente em vigor.

5.3.2.1 Cálculo da lotação

O cálculo para dimensionamento das saídas de emergência é feito com base em dados de densidade de pessoas por área, em função do tipo de ocupação do local, cujos exemplos são apresentados na Tabela 5.6. A seguir, são apresentadas as definições de lotação:

- Lotação: [...] *número de usuários, calculado na dependência de sua área e utilização* [item 12.6] (BOTELHO; FREITAS, p.100);
- Lotação de uma edificação: [...] *somatória das lotações dos seus andares ou compartimentos onde se desenvolverem diferentes atividades, calculada tomando-se a área útil efetivamente utilizada no andar para o desenvolvimento de determinada atividade, dividida pelo índice correspondente determinado na tabela 12.6.1* [Tabela 5.6 deste texto] [item 12.6.1] (BOTELHO; FREITAS, p.101);
- Lotação de origem (Lo): O COE não apresenta definição para o termo, mas subentende-se, em 12.7.1, que é a lotação do local de origem do cálculo (ambiente, setor ou área);
- Lotação corrigida (Lc): O COE não apresenta definição para o termo, mas subentende-se, em 12.7.1, que é a correção da lotação de origem, feita em virtude da distância vertical entre o local de origem (pavimento de origem) e a saída do edifício (pavimento de descarga), por meio da Equação 34 e da Equação 35:

$$L_c = 60 \cdot L_o \cdot Y / K$$

(Equação 34)

Onde:

- Lc :Lotação corrigida;
- Lo: Lotação de origem;
- K: capacidade de passagem da Tabela 5.6.
- Y: valor determinado pela altura do edifício; vide Equação 35.

$$Y = (H_o + 3) / 15 \geq 1$$

(Equação 35)

Tabela 5.6 – Exemplos de valores para cálculo de lotação (m²/pessoa) e largura de saídas (valor de K para corredores, rampas e escadas) - COE.

Ocupação	m ² /pessoa	Valores de K			
		Corredores e rampas		Escadas	
		Coletivo	Coletivo protegido	Coletivo	Coletivo protegido
Residencial	15,00	60	240	45	100
Comércio e serviço					
Setores com acesso ao público	5,00	100	250	65	160
Setores sem acesso ao público	7,00				
Circulação horizontal em centros comerciais	5,00				
Prestação de serviços de saúde					
Atendimento e internação	0,40	30	75	22	55
Espera e recepção	1,00				
Demais áreas	7,00				

Fonte: Botelho; Freitas (2008, p.101 e 103).

O K é o fator C da fórmula de cálculo de saídas da norma NBR 9077. O COE adota valores de K muito maiores para corredores e escadas protegidas – categoria não existente na referida norma.

Esclarecimentos adicionais podem ser encontrados, sobre o assunto, no Anexo 12 do COE (BOTELHO; FREITAS, 2008, p.235), a saber:

- *Para o cálculo da lotação corrigida “Lc” deverá ser considerada a altura “Ho”, medida em metros, entre a cota do pavimento de saída, e a cota do último pavimento da via de escoamento considerada [item 12.G.1 do Anexo 12].*
- *As portas de acesso da edificação situadas no pavimento de saída, necessárias ao escoamento da população, deverão atender ao disposto no item 12.7.4 do COE, abrindo sempre no sentido da saída e, quando abrirem não poderão obstruir o passeio público [item 12.G.2 do Anexo 12].*

É interessante notar a influência significativa do fator K para circulações coletivas protegidas, que diminuem drasticamente a lotação corrigida, em troca de uma proteção maior das rotas de fuga. Verifica-se, de antemão, também a consideração de um fator de acréscimo no dimensionamento de rotas de fuga em função da altura do edifício,

inexistente nos documentos analisados anteriormente neste capítulo, também inserido no cálculo da lotação corrigida. Estes são fatores adicionais de segurança que não são considerados nos documentos anteriormente analisados.

5.3.2.2 Cálculo dos espaços de circulação coletivos

As circulações coletivas, verticais e horizontais, são calculadas utilizando-se a lotação corrigida respectiva, para as duas diferentes situações, dividindo esta por módulos de 0,30m, a fim de obter o número de módulos que compõem a largura necessária da circulação. Destacam-se as principais definições necessárias ao cálculo das circulações coletivas (BOTELHO; FREITAS, 2008, p. 102-105):

- *Os espaços de circulação coletiva ou vias de escoamento serão constituídos por módulos de 0,30m, adequados ao escoamento de 30 pessoas por módulo, respeitada a largura mínima de 1,20m [item 12.7];*
- *Cada via de escoamento horizontal de um andar da edificação – corredor – será dimensionada em razão da contribuição da lotação corrigida “Lc” dos ambientes e setores do andar, não podendo haver diminuição de sua largura no sentido da saída [item 12.7.1.3];*
- *A via de escoamento vertical, escada ou rampa, será dimensionada em razão do andar que detiver maior lotação corrigida “Lc”, apurada dentre o conjunto de andares que venham a utilizar esta via de escoamento [item 12.7.1.4];*
- *A via de escoamento vertical poderá ter dimensão variável, proporcional à lotação corrigida “Lc” de cada andar desde que, no sentido da saída, não haja diminuição de sua largura [item 12.7.1.5];*
- *A capacidade dos elevadores, escadas rolantes ou outros dispositivos de circulação por meios mecânicos, não será considerada para efeito do cálculo de escoamento do edifício [item 12.7.1.7].*

É importante ressaltar que os valores do K do COE (Tabela 5.6) para circulações coletivas (corredores, rampas e escadas) são muito similares aos valores de C da NBR 9077 (Tabela 5.1), com a diferença dos valores para “rampas”, estão, no primeiro caso, junto com corredores, e no segundo, junto com escadas. Outra diferença é que o COE não trata especificamente de portas em rotas de fuga ou circulação coletiva. Assim, não fica claro como este assunto é considerado, principalmente no dimensionamento de acessos às escadas protegidas.

Por fim, é necessário também destacar que as escadas privativas e as coletivas em curva não devem ser consideradas para cálculo do escoamento da população [item 12.3.4] (BOTELHO; FREITAS, 2008, p.98).

5.3.2.3 Quantidade mínima de saídas

A quantidade mínima de saídas é determinada em função do tipo de ocupação da edificação, havendo distinção de critérios entre saídas de pavimento para edifícios de múltiplos pavimentos (escadas) e saídas da edificação (portas de saída no piso de descarga), como observado nas transcrições a seguir (BOTELHO; FREITAS, 2008, p. 105):

- *O número de saídas de uma edificação, no pavimento de saída, será no mínimo de duas, com distanciamento mínimo de 10,0 m entre si, sem prejuízo do dimensionamento dos espaços e percursos máximos estabelecidos [item 12.8.2].*
- *Deverão dispor, no mínimo, de uma escada protegida, as edificações: a) destinadas ao uso residencial multifamiliar e hospedagem, com altura superior a 12,00 m; e b) destinadas aos demais usos, com altura superior a 9,00 m ou lotação superior a 100 pessoas por andar [item 12.8.4].*
- *Deverão dispor de mais de uma escada protegida, as edificações: a) destinadas ao uso residencial multifamiliar, com altura superior a 80,00m; e b) destinadas aos demais usos, com altura superior a 36,00 m ou com altura superior a 9,00 m e lotação superior a 100 pessoas por andar [item 12.8.5].*

Uma vez que no texto da Lei só é definido o número mínimo de escadas protegidas (enclausurada e com antecâmara), o Decreto apresenta uma tabela com os tipos de escada exigidos em função do uso, da altura e da lotação da edificação, conforme pode ser visto na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 – Número mínimo e tipos de escadas do COE.

Uso	Altura "Ho" (m)	Lotação "Lo" do andar (pessoas)	Quantidade e tipo de escadas
Habitacional	$Ho \leq 12$	--x--	1 (uma) escada coletiva não protegida
	$12 < Ho \leq 27$	--x--	1 (uma) escada protegida sem antecâmara
	$27 < Ho \leq 80$	--x--	1 (uma) escada protegida com antecâmara
	$Ho > 80$	--x--	2 (duas) escadas protegidas com antecâmara
Demais usos	$Ho \leq 9$	$Lo \leq 100$	1 (uma) escada coletiva não protegida
		$Lo > 100$	1 (uma) escada protegida com antecâmara
	$9 < Ho \leq 36$	$Lo \leq 100$	1 (uma) escada protegida com antecâmara
		$Lo > 100$	2 (duas) escadas protegidas com antecâmara
	$Ho > 36$	--x--	2 (duas) escadas protegidas com antecâmara

Fonte: Botelho; Freitas (2008, p.237).

Conclui-se que, assim como no caso dos documentos analisados anteriormente, não há definição de número mínimo de saídas por compartimento, em função de sua lotação.

5.3.2.4 Distância a percorrer até uma saída

As distâncias máximas (horizontais) que podem ser percorridas até encontrar uma saída para o exterior ou uma escada nos demais pavimentos são determinadas pela Tabela 12.8.1 do COE e dependem, basicamente, das condições de segurança da circulação horizontal (aberto, com chuveiro automático ou protegido), apresentadas aqui na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 – Distâncias máximas a percorrer do COE.

Andar	Percurso	Distância máxima horizontal a percorrer (m)		
		Aberto ou coletivo		Coletivo protegido
		Coletivo ou aberto	Com chuveiro automático	
De saída da edificação	De qualquer ponto até o exterior	45	68	68
	Da escada até o exterior	25	38	45
Demais andares	De qualquer ponto até uma escada	25	38	45

Fonte: Botelho; Freitas (2009, p.104).

Complementarmente, valem ser destacados os seguintes requisitos:

- *Nos recintos em que a distância de qualquer ponto até a porta de acesso for inferior a 10,00m, a distância máxima prevista na tabela será calculada a partir da porta (item 12.8.1.1).*
- *Quando houver obrigatoriedade de mais de uma escada, a distância entre seus acessos não poderá ser inferior a 10,0m (item 12.8.2).*

Para edificações com grandes áreas de pavimento, a distância máxima a percorrer pode induzir à provisão de número de saídas de pavimento maior que o mínimo estabelecido no COE. Além disso, verifica-se que a determinação que consta no COE, de distância mínima de 10 metros entre duas escadas, foi adotada também pela IT 11, pois não existe na norma NBR 9077.

5.3.2.5 Espaços de circulação protegidos

De acordo com **12.2** do COE, são considerados espaços de circulação coletivos “as escadas, as rampas, os corredores e os vestíbulos [...] que de destinarem ao uso público ou coletivo, devendo observar a largura mínima de 1,20m” (BOTELHO; FREITAS, 2008, p.96).

E os espaços de circulação protegidos são de uso coletivo, definidos em **12.9** (BOTELHO; FREITAS, 2008, p.105-106) como:

[...] os espaços de circulação que, por suas características construtivas, permitirem o escoamento em segurança dos setores a que servirem, atendendo às seguintes disposições:

a) mantenham isolamento de qualquer outro espaço interno da edificação, por meio de elementos construtivos resistentes, no mínimo, a duas horas de fogo (RF-120) sendo dotados de portas resistentes, no mínimo, a uma hora de fogo (RF-60);

b) tenham uso exclusivo como circulação, estando permanentemente desobstruídos;

c) contenham apenas as instalações elétricas próprias do recinto e do sistema de segurança;

d) não contenham aberturas para dutos, ou galerias de instalações ou serviços;

e) tenham os revestimentos das paredes e pisos ensaiados conforme as NTO (Normas Técnicas Oficiais, grifo nosso), e aplicados de acordo com a tabela seguinte, em função do uso da edificação.

Tabela 5.9 – Características dos revestimentos de paredes e pisos de espaços de circulação protegidos do COE.

Uso	Espaço de circulação protegidos		
	Saída	Acesso das saídas	Outros espaços
Educacional	A I ou II	A ou B I ou II	A, B ou C
Tratamento de saúde	A I	A I	A
Residencial	A I ou II	A ou B I ou II	A, B ou C
Locais de reunião	A	A ou B	A, B ou C
Comércio e serviços	A ou B	A ou B	A, B ou C
Indústria e depósito	A ou B	A, B ou C	A, B ou C

Fonte: Botelho; Freitas (2008, p.106).

Consideram-se “A”, “B” e “C”, os índices para revestimentos de paredes e, I e II, os índices para revestimentos de piso, segundo as NTO, e quando existir instalação de chuveiros automáticos, estes índices podem ser reduzidos para uma classificação acima da estipulada na tabela.

Adicionalmente, a **Seção 12. I** (BOTELHO; FREITAS, 2008, p.237-238) esclarece sobre a classificação de escadas como espaço de circulação protegido (escadas protegidas):

- Escada aberta para o exterior: com altura máxima de 27,00m, sem vestíbulo ou antecâmara protegidos, desde que possua ventilação natural por aberturas em pelo menos 50% de seu perímetro e que estejam distanciadas a pelo menos 5,0 m de outra abertura da mesma edificação e 3,0m das divisas do imóvel;
- Escada pressurizada: dimensionada de acordo com a NTO (no caso, a NBR 14.880 – Saídas de emergência em edifícios – escadas de segurança – controle de fumaça por pressurização), com funcionamento garantido por fonte alternativa de energia elétrica e comunicando-se por meio de vestíbulos ou antecâmaras protegidos;
- Escada fechada sem iluminação natural: comunicando-se somente por meio de vestíbulos com ventilação direta ou antecâmaras protegidos com ventilação por um duto;
- Escada fechada com iluminação natural: iluminação garantida por abertura para o exterior com área máxima de $0,50m^2$, distanciada pelo menos 3,0m de outra abertura na edificação ou das divisas do imóvel, comunicando-se por meio de vestíbulos com ventilação direta ou antecâmaras protegidos com ventilação por um duto;
- Escada protegida, enclausurada e à prova de fumaça conforme NTO (no caso, NBR 9077 – Saídas de emergência em edifícios), de acordo com os limites fixados na Norma.

Em **12.9.1** e seus sub-itens, o COE estabelece detalhes construtivos e de dimensionamento dos vestíbulos e das antecâmaras que compõem as escadas protegidas, assim como dos métodos de ventilação destes. As escadas fechadas com ou sem iluminação natural antecedidas de antecâmara ou vestíbulo apresentam características similares à escada à prova de fumaça da norma NBR 9077 COE, principalmente no que se refere ao dimensionamento e as características do sistema de ventilação das antecâmaras (ventilação por duto). No entanto, estas escadas do COE só requerem um duto de ventilação/exaustão, ao invés dos dois exigidos pela norma NBR 9077. Os vestíbulos e antecâmaras não são exigidos para edifícios residenciais multifamiliares com altura igual ou inferior a 27 metros.

VENTILAÇÃO POR DUTO

Figura 5.13 – Desenhos esquemáticos do duto de ventilação de antecâmaras (COE).

Fonte: Botelho; Freitas (2008, p. 107).

5.3.2.6 Elevadores de emergência

A instalação de elevadores de emergência é requerida pelo COE para as situações citadas abaixo (BOTELHO; FREITAS, 2008, p. 110):

- As edificações destinadas ao uso residencial multifamiliar com altura superior a 80,00m e as edificações destinadas aos demais usos com altura superior a 60,00m deverão ser servidas por um elevador para uso em emergência, dimensionado de acordo com as NTO [item 12.10.4].

- *O elevador para uso em emergência poderá ser um dos elevadores da edificação dispor, pelo menos, de dispositivo de manobra manual para uso de Brigada de Incêndio ou Corpo de Bombeiros e alimentação de energia independente, por gerador [item 12.10.4.1].*

Porém, a ausência de norma técnica específica levou a prefeitura, por meio da Resolução CEUSO 095/1999, a determinar a adoção dos poucos parâmetros técnicos estabelecidos na NBR 9077 (item 4.9.2) para garantir a segurança de uso do mesmo, apresentados abaixo:

- ✓ Ter enclausuramento de sua caixa por paredes resistentes a 4 horas de fogo;
- ✓ Ter portas metálicas abrindo para um dos seguintes compartimentos: antecâmara ventilado; varanda; hall enclausurado e pressurizado; patamar de escada pressurizada; local análogo, do ponto de vista de segurança contra fogo e fumaça.

Além disso, dos três documentos analisados até aqui, este é o único que define claramente o número de um elevador de emergência. Deduz-se, pelo texto e pela quantidade determinada no COE, que este deverá ser de uso exclusivo das equipes de emergência.

5.3.2.7 Área de refúgio

Entende-se que a área de refúgio é um espaço de circulação protegido, porém, não há clareza disso, uma vez que, conceitualmente, estas podem não ter uso exclusivo para circulação. Os parágrafos seguintes do COE sobre o assunto não esclarecem esta dúvida (BOTELHO; FREITAS, 2008, p. 110-111):

- *Recomenda-se a previsão de áreas de refúgio em edificações nos seguintes usos e condições: a) residencial multifamiliar com altura superior a 80,00m; b) tratamento de saúde com altura superior a 33,00m; c) outros usos com altura superior a 60,00m [item 12.10.5].*
- *As áreas de refugio, quando previstas, deverão estar situadas em andares intermediários, com capacidade de abrigar a lotação total dos andares superiores, na proporção de 0,50m² por pessoa [item 12. 10.5.1].*
- *As áreas de refúgio, ou setor de incêndio, serão delimitadas por elementos com resistência ao fogo RF-240 (paredes, pisos) e RF-120 (portas) [item 12.10.5.2].*

Verifica-se que a instalação de áreas de refúgio, neste caso, não passa de uma recomendação, não havendo apresentação de nenhuma vantagem em sua instalação, como a redução do número ou largura de saídas.

5.3.2.8 Piso de descarga

No piso de descarga, além da distribuição das saídas, determinada em 12.8.3 e pela distância máxima a percorrer da Tabela 12.8.1 do COE, deve-se atender aos seguintes requisitos construtivos e dimensionais para garantir a saída segura da população do edifício, a saber:

- *Para efeito do Capítulo 12 do COE e do Anexo, pavimento(s) de saída é (são) aquele(s) que possibilita(m) à população alcançar o logradouro público por área descoberta externa à edificação podendo ocorrer mais de um [item 12.A.2 do Anexo 12] (BOTELHO; FREITAS, 2008, p.232);*
- *As escadas coletivas deverão ser descontínuas a partir do pavimento correspondente à soleira de ingresso da edificação, de forma a orientar o usuário ao exterior [item 12.3.5] (BOTELHO; FREITAS, 2008, p. 98);*
- *A descontinuidade das escadas, conforme dispõe o item 12.3.5 do COE, poderá ocorrer em mais de um pavimento, desde que estes sejam “pavimentos de saída”, acordo com o item 12.A.2 do Anexo [item 12.C.2 do Anexo 12] (BOTELHO; FREITAS, 2008, p. 233);*
- *No pavimento de saída da edificação, os espaços de circulação serão dimensionados de acordo com a capacidade de escoamento das escadas a que dão continuidade, acrescidos da população do próprio andar que também venha a utilizar a via de escoamento [item 12.7.3] (BOTELHO; FREITAS, 2008, p. 104).*

Os requisitos para o piso de descarga são muito semelhantes aos determinados pelos documentos anteriormente analisados, com a desvantagem de estarem dispersos entre parágrafos nos Anexos da Lei e do Decreto que compõem o COE.

5.3.2.9 Sistemas complementares

Complementarmente às exigências de segurança de caráter construtivo, o COE define a necessidade de instalações e equipamentos de segurança (proteção ativa), classificando-os em duas categorias, a saber (BOTELHO; FREITAS, 2008, p. 111):

- Sistema de Segurança Básico:
 - Iluminação de emergência
 - Sinalização de emergência

- Alarme de acionamento manual
- Equipamentos móveis e semifixos de operação manual para combate a incêndio, de acordo com a legislação estadual vigente;
- Sistema Especial de Segurança:
 - Sistema de segurança básico;
 - Detecção e alarme de acionamento automático;
 - Equipamento fixo de combate a incêndio com acionamento automático ou não.

As condições para a instalação desses sistemas são as seguintes (BOTELHO; FREITAS, 2008, p. 112):

- *As edificações que não necessitem de espaços de circulação protegidos excluem-se da obrigatoriedade de instalação de Sistema de Segurança [item 12.11.3].*
- *As edificações que necessitem, no mínimo, de uma escada protegida, deverão dispor do Sistema Básico de Segurança [item 12.11.4].*
- *As edificações que necessitem de mais de uma escada protegida deverão dispor do Sistema Especial de Segurança [item 12.11.5].*

O Anexo 12 traz situações adicionais onde o requisito deve ser atendido (BOTELHO; FREITAS, 2008, p.239):

- *Incluem-se na obrigatoriedade de Sistema Básico de Segurança, as edificações com lotação superior a 100 pessoas, destinadas aos seguintes usos [item 12.L.2.1 do Anexo 12]:*
 - *Prestação de serviços de saúde.*
 - *Prestação de serviços de educação.*
 - *Locais de reunião.*
 - *Prática de exercício físico ou esporte.*

O COE determina, basicamente, a instalação de sistemas de proteção ativa que auxiliam ou asseguram a utilização segura das rotas de fuga, deixando a especificação dos sistemas de combate ao fogo como atribuição a regulamentação estadual (Corpo de Bombeiros).

5.4 LifeSafety Code - NFPA 101:2009

5.4.1 Breve histórico

Segundo Coté; Harrington (2009), as primeiras edições deste código foram publicadas sob o título de *NFPA Building Exits Code (NFPA 101-T)*. Este título evidencia um dos principais temas abordados neste documento, que é a provisão de saídas suficientes nos edifícios para que seus ocupantes deixem o local em segurança durante situações de emergência, como incêndios ou outros desastres. Em 1966, seu título foi alterado para “*Code for Safety to Life from Fire in Buildings and Structures*”, porém ficou mais conhecido pelo título simplificado “*Life Safety Code*” até 2002. A partir de 2003, o título “*Life Safety Code*” passou a ser oficial. Seu escopo foi gradualmente se ampliando para abordar a segurança dos usuários de edificações sob os vários aspectos que envolvem sua proteção física contra incêndios e demais acidentes.

Na sua edição de 2009 (COTÉ; HARRINGTON, 2009), Capítulo 1 “*Administration*”, este código apresenta os objetivos do documento, seu escopo e campo de aplicação; no Capítulo 2 “*Referenced Publications*”, apresenta as publicações referenciadas no código e de consulta obrigatória para efetiva aplicação dos requisitos estabelecidos no documento; no capítulo 3 “*Definitions*”, são definidos os termos adotados no texto do código.

O capítulo 4, “*General*”, define conceitos gerais e comuns aplicáveis nos demais capítulos do código, incluindo as metas e os objetivos do código, os requisitos fundamentais e gerais, a necessidade de práticas de abandono e de planos de emergência.

Já, o Capítulo 5 “*Performance-Based Option*” trata, especificamente, das questões relacionadas aos projetos com base no desempenho (já discutidas com maior profundidade no Capítulo 5 desta tese); e o Capítulo 6, “*Classification of Occupancy and Hazard of Contents*”, apresenta a classificação dos edifícios adotada no código, por tipo de ocupação e de risco.

O capítulo 7, “*Means of Egress*”, trata dos elementos que compõem as saídas de emergência. Este capítulo estabelece, assim, os requisitos mínimos a serem cumpridos

para garantir saídas de emergência para todos os tipos de ocupação, tratando tanto de construções novas como das existentes.

No capítulo 8 deste Código, *“Feature of Fire Protection”*, são estabelecidos os requisitos construtivos para garantir a proteção ao fogo de elementos como: compartimentação, barreiras corta-fogo, divisórias corta-fumaça, barreiras corta-fumaça e aberturas verticais. O capítulo 9, *“Building Service and Fire Protection Equipment”*, estabelece os sistemas prediais de proteção contra incêndio e o capítulo 10, *“Interior Finishing, Contents and Furnishing”*, questões relativas aos materiais de acabamento, revestimento e mobiliário.

Do capítulo 11 ao 42, são abordadas particularidades por tipo de ocupação do edifício e o Capítulo 43 trata das particularidades no caso de reabilitação de edifícios existentes.

5.4.2 Requisitos e critérios de dimensionamento

5.4.2.1 Cálculo da população

A população por pavimento da edificação é estimada considerando a densidade de ocupação (m^2 / pessoa) dada na Tabela 7.3.1.2 – *Occupant Load Factor*, por tipo de uso da edificação e complementada pela Figura 7.3.1.2 (b), que trata da concentração de pessoas/ m^2 de área útil em “centros de compra (mall buildings)”. A população de qualquer edifício ou sua parte não deve ser inferior ao número de pessoas resultante da divisão da área de piso pela densidade de ocupação definida para este uso específico.

5.4.2.2 Cálculo da largura das saídas

A Seção 7.3.4, *“Minimum Width”*, trata das larguras mínimas. É determinado que a largura mínima de qualquer rota de fuga não deve ser inferior a 915 mm (36 polegadas) (item 7.3.4.1), porém, quando existe uma única saída, sua capacidade, em termos de largura, não deve ser inferior à capacidade necessária para o abandono do local (item 7.3.4.2) por toda a população. Se existir mais de uma saída, cada uma delas deve ter largura suficiente para acomodar o número de pessoas que esta saída serve. Considera-se o fator de capacidade apresentado na Tabela 5.10 (Tabela 7.3.3.1 do

código) para o cálculo da largura das saídas (mm por pessoa), cujo método se baseia no incremento de largura por pessoa que deve utilizar a saída a ser dimensionada.

Tabela 5.10 – Fatores de capacidade (NFPA 101).

Uso	Escadas (largura por pessoa, em mm)	Componentes horizontais e rampas (largura por pessoa, em mm)
Asilos, creches, reformatórios, etc.	10	5
Estabelecimentos de saúde com instalação de sistema de chuveiros automáticos	7,6	5
Estabelecimentos de saúde sem instalação de chuveiros automáticos	15	13
Locais com concentração de alto risco	18	10
Todos os demais tipos	7,6	5

Fonte: Coté; Harrington (2009, p.244).

A largura de um corredor deve ser o suficiente para abrigar a população que vai utilizá-lo para se dirigir às saídas, dividida pelo número de saídas que interliga. Porém, sua capacidade (largura) não deve ser menor que a da saída a que conduz.

A largura livre mínima para escadas em construções novas que abrigam uma população total inferior a 50 pessoas deve ser de 915 mm ou 36 polegadas (7.2.2.2.1.2). Para escadas que vão abrigar população superior a 50 pessoas e inferior a 2000 pessoas, a largura mínima exigida é de 1120 mm ou 44 polegadas e, para população igual ou superior a 2000 pessoas, de 1420 mm. A Figura 5.14 apresenta um exemplo de dimensionamento de escada com base neste critério.

Figura 5.14 – Exemplo de dimensionamento de escadas para edifícios altos.

5.4.2.3 Número de saídas

A Seção 7.4, “*Number of Means of Egress*”, apresenta aspectos relacionados ao número de saídas e determina que qualquer pavimento, ou suas partes, devem possuir, pelo menos, duas saídas (uma saída única é permitida em alguns casos apontados no item 7.4.1.1; normalmente, em locais de acesso restrito), sendo que, onde houver lotação superior a 500 e inferior a 1000 pessoas, devem existir pelo menos 3 saídas e, quando a lotação for superior a 1000 pessoas, pelo menos 4 saídas (vide exemplo da Figura 5.15).

Figura 5.15 – Exemplo de número mínimo de saídas para construções novas.

Fonte: Coté; Harrington (2009, p.251).

A lotação de cada pavimento, individualmente, deve ser considerada na avaliação do número de saídas de cada pavimento, sendo que o número de saídas não pode diminuir na direção da saída / fuga (7.4.1.4).

Onde mais de uma saída é exigida, as rotas de fuga devem ter largura e capacidade tais que a perda de qualquer uma das saídas ainda permita que as demais absorvam pelo menos 50% da capacidade total requerida (7.2.1.1.2).

5.4.2.4 Distribuição das saídas

Em 7.5, *“Arrangement of Means of Egress”*, são definidas as exigências para que as saídas se apresentem bem distribuídas, permitindo o acesso fácil às mesmas.

Os corredores da rota de fuga devem proporcionar acesso a pelo menos duas saídas independentes, a menos dos casos onde é permitida a existência de uma única saída. As distâncias a percorrer (tratadas a seguir, em 1.4.2.5) não devem, nunca, exceder ao limite estipulado (7.5.1.1.2).

Onde duas ou mais saídas, acessos a saídas ou descargas são exigidas, estas devem ser localizadas distanciadas entre si, no mínimo, na medida correspondente à metade do comprimento da maior dimensão diagonal do edifício ou da área considerada, medida em linha reta dos cantos mais próximos das saídas (Figura 5.16). Caso o edifício seja protegido inteiramente por sistema de chuveiros automáticos, esta distância em linha reta pode ser reduzida a até $1/3$ da diagonal considerada. A distribuição das saídas deve ser tal que o bloqueio de uma delas não impeça o uso das demais.

Figura 5.16 – Exemplos de aplicação da regra de distribuição de saídas de pavimento.

Fonte: Coté; Harrington (2009, p.257).

5.4.2.5 Distâncias a percorrer

A Seção 7.6, “*Measurement of Travel Distance to Exits*”, trata das distâncias a percorrer para saídas, onde se definem distâncias de caminamento de três tipos, a saber:

- Distância máxima a percorrer numa única direção;
- Profundidade máxima de corredores sem saída (becos sem saída);
- Distância máxima a percorrer até pelo menos uma das saídas segura/ protegida.

A Tabela 5.11 a seguir apresenta exemplos dos valores de distância em alguns tipos de uso para edificações a construir:

Tabela 5.11 – Exemplos de valores de distância a percorrer (NFPA 101).

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

Fonte: Coté; Harrington (2009, p.267).

Quando existe saída numa única direção, a distância a percorrer é medida a partir do ponto mais remoto do compartimento em relação à saída até o ponto onde se encontra com o eixo de uma rota de fuga com duas ou mais direções de fuga (vide Figura 5.17).

Figura 5.17 – Exemplo de saída em uma única direção

Fonte: Coté; Harrington (2009, p.261).

Podem existir duas situações de corredores sem saída, como pode ser visto na Figura 5.18 e na Figura 5.19. O corredor pode simplesmente não levar a lugar nenhum ou dar acesso a uma ou mais salas, porém, sem terminar numa saída de emergência. A distância máxima a percorrer em corredores sem saída é medido do seu final até o encontro com o eixo de uma rota com mais de uma direção de fuga.

A distância B-C é a medida do corredor sem saída e a distância A-C é a distância de saída em uma única direção.

Figura 5.18 – Corredor sem saída.

Fonte: Coté; Harrington (2009, p.261).

Figura 5.19 – Corredor sem saída combinado com compartimento com uma única direção de saída.
Fonte: Coté; Harrington (2009, p.261).

5.4.2.6 Características das portas de saída

A largura mínima (vão livre) de portas em rotas de fuga, estabelecida em 7.2.1.2.3, “*Minimum Door Leaf Width*”, é de 810mm. A largura necessária, caso a caso, deve ser calculada considerando-se o valor da Tabela 7.3.3.1 do código (mm de largura/pessoa) por tipo de uso. Por exemplo, caso a porta seja utilizada por uma população de 120 pessoas, num escritório, então, $120 \text{ pessoas} \times 5 \text{ mm/pessoa} = 610 \text{ mm}$. Prevalece, neste caso, a largura mínima de 810mm.

As portas devem ser do tipo “de abrir”, com eixo vertical e sua abertura no sentido da fuga; não pode obstruir a passagem no corredor a que dá acesso, permitindo-se uma saliência de, no máximo, 180mm, conforme Figura 5.20.

A força para abertura manual de qualquer porta em rotas de fuga não deve exceder 67N para acionar a maçaneta, 133N para colocar a folha da porta em movimento e 67N para abri-la completamente.

Figura 5.20 – Tolerância de saliência de porta em rota de fuga.

Fonte: Coté; Harrington (2009, p.149).

O Código define uma série de especificações para as ferragens a serem utilizadas nas portas, tais como chaves, travas, trincos, fechaduras eletrônicas, barras anti-pânico, mecanismos de fechamento automático, dentre outros.

Além disso, o Código estabelece as situações onde é permitida a utilização de portas de correr de abertura horizontal e vertical em rotas de fuga.

5.4.2.7 Características dos corredores

Em 7.1.3.1, *“Exit acess corridors”*, estabelece-se que corredores utilizados como acesso para saída ou servindo uma área com lotação superior a 30 pessoas, devem estar separados de outras partes do edifício com paredes com pelo menos 1 hora de resistência ao fogo, a menos de situações especificadas nos capítulos 11 a 43 do código. (Obs: este parágrafo do código não exige corredores, mas que caso existam, estes devem ser protegidos).

Os corredores protegidos são tratados na Seção 7.2.6, *“Exit Passageways”*, consistindo de uma saída que deve proporcionar os mesmos níveis de proteção e segurança de uma escada enclausurada, por meio de paredes e portas corta-fogo. Estes corredores podem ser utilizados, basicamente, para duas situações, a saber:

- a) Em rotas protegidas e contínuas, que interligam o fim de uma escada até o exterior do edifício no piso de descarga, atendendo à exigência de que 50% das saídas verticais no piso de descarga devem dar diretamente para o exterior ou por meio de corredores protegidos (vide Figura 5.21);
- b) Como uma rota protegida antecedendo uma saída de pavimento (escada ou exterior), para atender à distância máxima de percurso até uma saída. O corredor protegido é considerado uma saída segura e, desta forma, a distância máxima a percorrer até uma saída segura pode ser atendida até o acesso a este corredor, possibilitando que a distância total até uma escada ou saída para o exterior seja maior (vide Figura 5.22).

Figura 5.21 – Corredor protegido no pavimento de descarga
Fonte: Coté; Harrington (2009, p.213).

Figura 5.22 – Corredor protegido no acesso a uma escada protegida.

Fonte: Coté; Harrington (2009, p.214).

A largura de corredores protegidos (7.2.6.4) deve ser dimensionada para acomodar toda a população calculada para o seu uso. A largura mínima de qualquer corredor protegido que precede ou antecede uma escada de emergência deve ser de, no mínimo, 2/3 da largura da escada.

5.4.2.8 Características das rampas

As rampas, quando utilizadas como componentes de rotas de fuga, devem atender aos requisitos da Seção 7.2.5, “Ramps” do Código, além dos requisitos básicos da Seção 7.1 “General” do mesmo documento. As dimensões determinadas para rampas a serem construídas são apresentadas na Tabela 5.12 (Tabela 7.2.5.2.(a) do código) e transcritas abaixo:

Tabela 5.12 – Critérios dimensionais para rampas (NFPA 101).

Requisitos	Critérios dimensionais (em mm)
Largura mínima livre de obstruções (exceto projeção de corrimãos)	1120
Inclinação máxima	1/12 (8,33%)
Inclinação transversal máxima	1/48 (2,0 %)
Altura máxima a ser vencida por cada patamar	760

Fonte: Coté; Harrington (2009, p.211).

As rampas que se destinam a saídas de emergência devem ser de construção fixa e permanente. É permitida a sua constituição em material incombustível, de combustão

limitada ou de madeira de tratamento fogo-retardante, de acordo com o tipo de uso da edificação. No entanto, rampas construídas em madeira possuem limitação em suas dimensões (altura máxima de 760mm e área máxima de 277m², não podendo ocupar mais que 50% da área do compartimento).

Os patamares devem existir:

- tanto no início, término como em qualquer local onde houver abertura de portas para a rampa;
- com inclinação transversal máxima de 2%;
- com largura não inferior à largura da rampa;
- em toda mudança de direção da rampa;
- sem diminuição de sua largura na direção da saída/ fuga.

As rampas devem ter guardas e corrimãos instalados conforme requisitos estabelecidos em 7.2.2.4 do código.

5.4.2.9 Características das escadas

A Subseção 7.2.2, “*Stairs*”, apresenta os requisitos a serem atendidos na provisão de escadas com rotas de fuga, cujos aspectos de desempenho ao fogo devem estar conforme estabelecido na Seção 7.1, “*General*”.

As seguintes dimensões são determinadas para escadas novas:

- Altura máxima dos degraus: 180 mm;
- Altura mínima dos degraus: 100 mm;
- Profundidade mínima do degrau: 280 mm;
- Pé-direito mínimo: 2030 mm;
- Altura máxima entre patamares: 3660 mm.
- A largura mínima de escadas (7.2.2.2.1.2) deve ser de:
 - 915mm, quando a população de todos os pavimentos servidos pela escada é inferior a 50 pessoas, incluindo a redução da largura em 114mm na altura dos corrimãos;
 - 1120mm, quando a população de todos os pavimentos servidos pela escada é superior a 50 pessoas, porém inferior a 2000 pessoas, incluindo a redução da largura em 114mm na altura dos corrimãos;

- 1420mm, quando a população de todos os pavimentos servidos pela escada é superior a 2000 pessoas, incluindo a redução da largura em 114mm na altura dos corrimãos.
- Escadas curvas são permitidas, desde que a profundidade do piso não seja inferior a 280mm quando medida a 305mm da extremidade mais estreita do degrau e a escada tenha uma largura total que corresponda a pelo menos à metade do raio de curvatura interna da escada.

Escadas em “caracol” são só permitidas para uso privativo. Degraus “em leque” são permitidos em substituição a patamares planos e retos, em alguns tipos de uso, desde que o piso do degrau não tenha a menor profundidade inferior a 150mm e que, a 305mm da extremidade mais estreita do degrau, a profundidade medida seja igual ou superior a 280mm.

A Subseção 7.2.2.3, “*Stair Details*”, apresenta as características construtivas a serem atendidas pelas escadas, assim como pelos patamares, os tipos de acabamento permitidos para suas superfícies, as dimensões (altura e profundidade) dos degraus e a tolerância na uniformidade dimensional entre os degraus.

- a) Escadas enclausuradas:** Os meios de proteção das escadas de emergência são apresentados em 7.2.2.5 *Enclosures and Protections of Stairs*. Todas as escadas internas que fazem parte de uma rota de fuga devem ser enclausuradas com paredes resistentes ao fogo e portas corta-fogo, com a finalidade de proteger as escadas dos efeitos do incêndio, nas faces que as delimitam do restante do edifício. Quando a escada tem uma de suas paredes faceando o perímetro externo (fachada) do edifício, esta parede está isenta da exigência de resistência ao fogo desde que o ângulo entre a parede externa da escada e a fachada contígua for igual ou superior a 180 graus. Caso contrário, deve haver uma faixa de parede resistente ao fogo se estendendo horizontalmente por pelo menos 3050mm além do limite da parede da escada(Vide Figura 5.23).

- a) Escada com parede externa sem proteção no mesmo plano da fachada.

- b) Escada com perímetro protuberante sem proteção além da fachada protegida do edifício.

- c) Escada com parede externa sem proteção e fachada adjacente protegida.

Figura 5.23 – Proteção de escadas contra exposição ao calor na fachada.

Fonte: Coté; Harrington (2009, p.193).

b) Escadas externas: Os requisitos para escadas externas estão em 7.2.2.6 *Special Provisions for Outside Stairs*, e são os apresentados a seguir, observadas as exceções descritas em 7.2.2.6.3.1 (1) a (5) do código:

- Escadas externas que levam à cobertura do edifício ou de edifício vizinho são permitidas somente se aprovado pela autoridade local, desde que a construção seja resistente ao fogo e se garanta uma rota de fuga contínua e segura aos ocupantes;
- Escadas externas devem apresentar dispositivos que facilitem o uso por pessoas que sofram com medo de altura. Escadas com mais de 11,0m de altura do solo devem apresentar obstruções visuais opacas ao longo da escada a uma altura de 1220mm, no mínimo;

- Escadas externas devem estar isoladas do edifício por meio de construção com resistência ao fogo igual às escadas internas ou por uma distância de separação das suas aberturas, de 3050mm em relação a outras adjacentes;;
- Escadas externas devem ser projetadas para se minimizar o acúmulo de água em suas superfícies;
- Escadas externas devem ter pelo menos 50% de abertura em uma de suas faces e devem ser projetadas de forma a restringir o acúmulo de fumaça.

Exemplo 1

Exemplo 2

Figura 5.24 – Proteção de aberturas em escadas externas – Exemplos.

Fonte: Coté; Harrington (2009, p.200).

c) **Escadas à prova de fumaça:** Escadas deste tipo são definidas na Seção 7.2.3 *Smokeproof Enclosures*, sendo incluídas nesta categoria as escadas com vestíbulos ventilados naturalmente (7.2.3.7), as escadas com ventilação mecânica incorporada aos vestíbulos (7.2.3.8) e escada pressurizada (7.2.3.9).

- As escadas com vestíbulo ventilados naturalmente devem apresentar, nos vestíbulos, em cada pavimento, aberturas para ventilação natural voltada diretamente para o exterior de acordo com os requisitos apresentados na Figura 5.25.
- As escadas com ventilação mecânica incorporada aos vestíbulos devem possuir um sistema constituído de dois dutos, sendo um de suprimento e outro de

exaustão de ar, garantindo uma troca de ar por minuto com exaustão de 150% do ar suprido, conforme detalhe da Figura 5.26.

Figura 5.25 – Exemplos de escadas à prova de fumaça.

Fonte: Coté; Harrington (2009, p.202).

Figura 5.26 – Posição das aberturas de ventilação mecânica em escadas à prova de fumaça.

Fonte: Coté; Harrington (2009, p.203).

- A escada pressurizada deve ser projetada para garantir uma barreira de ar com diferença de pressão de $12,5 \text{ N/m}^2$ para edifícios com sistema de chuveiros automáticos e 25 N/m^2 para edifícios sem sistema de chuveiros automáticos instalado; e deve garantir uma diferença de pressão sob quaisquer circunstâncias de vento ou efeito chaminé. A força de abertura nas portas, ao longo dos pavimentos, não deve exceder 133N.
- Tanto o sistema de ventilação mecânica como o de pressurização das escadas devem ser acionados por detectores de fumaça instalados em local apropriado, dentro de um raio de 3050mm da entrada dos vestíbulos das escadas à prova de fumaça. Estes sistemas também devem ter o suprimento de energia de emergência garantido para seu adequado funcionamento em caso de incêndio e outras emergências.
- A adoção das escadas à prova de fumaça é determinada por tipo de uso, nos demais capítulos do Código em questão.

5.4.2.10 Corrimãos e guardas

Os requisitos a serem atendidos pelos corrimãos são definidos em “7.2.2.4.1 *Handrails*”, sendo obrigatória a sua instalação em ambos os lados de escadas e rampas. Para escadas novas, corrimãos devem ser instalados dentro do alcance de 760mm (7.2.2.4.1.2 (1)). Como se admite uma distância máxima de 114mm entre o corrimão (incluindo seu diâmetro) e a sua base de fixação (parede), a largura máxima de escada somente com corrimãos laterais seria de 1750mm ($114\text{mm} + 760\text{mm} + 760\text{mm} + 114\text{mm}$) – vide Figura 5.27. Acima desta largura, seria necessária a instalação de corrimão intermediário, a cada 760mm de largura, com largura livre mínima entre corrimãos de 510mm (7.2.2.4.1.3). Os corrimãos devem ser instalados a uma distância de, no mínimo, 57mm, medida entre a parede e a face interna do corrimão (7.2.2.4.4.5). Devem ter seção circular com diâmetro externo de no mínimo 32mm e no máximo 51mm (7.2.2.4.4.6).

Figura 5.27 – Largura máxima permitida sem corrimão intermediário / central.
Fonte: Coté; Harrington (2009, p.187).

Os corrimãos não precisam ser contínuos nos patamares das escadas, sendo necessária apenas a continuidade dos mesmos no lado interno, quando há mudança de direção da escada no patamar (7.2.2.4.2). Os corrimãos devem se estender por pelo menos 305mm além do último degrau superior, com altura paralela ao piso e pelo menos o comprimento do piso do degrau no primeiro degrau inferior, mantendo a inclinação do corrimão (7.2.2.4.4.10). As pontas dos corrimãos devem se curvar para a parede ou o piso, ou terminar em balaustres (pilaretes de apoio) (7.2.2.4.4.9).

Figura 5.28 – Detalhes de corrimãos.

Fonte: Coté; Harrington (2009, p.188).

A altura dos corrimãos não deve ser inferior a 865mm nem superior a 965mm da superfície do piso do degrau, medida verticalmente do topo do corrimão (7.2.2.4.4.1). A instalação de corrimãos adicionais de outras alturas é permitida (7.2.2.4.4.4). Onde crianças de até 5 anos de idade formam a maior parte da população do edifício, um corrimão adicional com altura entre 710 e 810mm poderá ser útil. Crianças preferem, quando podem, utilizar corrimãos localizados a uma altura entre os ombros e a cabeça, devido às suas características de desenvolvimento (equilíbrio e caminhar pouco desenvolvido). Aos três anos, a altura da cabeça varia de 890 a 1015mm; os ombros, em média, 735mm. Aos cinco anos, a altura da cabeça varia de 990mm a 1170mm e os ombros, de 785mm a 940mm (A.7.2.2.4.4.4).

As guardas ou os guarda-corpos (Subseção 7.1.8) são exigidos ao longo de rotas de fuga toda a vez que se apresentem laterais abertas que tenham desnível superior a

760mm em relação ao piso superior ou ao piso inferior. Assim, guardas podem ser exigidas para escadas, patamares, escadas rolantes, esteiras rolantes, balcões, corredores, passagens, aberturas em pisos e coberturas, rampas, varandas e mezaninos.

Os detalhes dimensionais das guardas são especificados em “7.2.2.4.5 *Guard Details*”, incluindo sua altura mínima de 1065mm (7.2.2.4.5.2), com longarinas ou balaustres intermediários que não permitam a passagem de uma esfera de 100mm de diâmetro do piso até uma altura de 865mm (7.2.2.4.5.3). Além disso, a abertura triangular eventualmente formada entre o piso, o degrau e a uma barra horizontal inferior da guarda não pode permitir a passagem de uma esfera de 150mm de diâmetro (7.2.2.4.5.3 (1)). Balaustres (verticais) são preferidos às longarinas (horizontais), pois reduzem a possibilidade de “escalar” a guarda (A.7.2.2.4.5.3).

Figura 5.29 – Guarda-corpo com balaustres.

Fonte: Coté; Harrington (2009, p.192).

5.4.2.11 Elevadores de emergência

O que se entende como elevador de emergência no Brasil é definido em “3.3.64 *Elevator Evacuation System*” como: “Um sistema, incluindo uma série vertical de antecâmaras de elevadores, caixa de elevadores e casa de máquinas, que apresentam meios de proteção contra os efeitos do incêndio aos passageiros dos elevadores, às pessoas que aguardam o uso dos elevadores e aos equipamentos dos elevadores, de

forma que estes possam ser utilizados de maneira segura para o abandono do edifício”
(COTÉ; HARRINGTON, 2009, p.27, tradução nossa).

A subseção 7.2.13 trata dos elevadores e admite o seu uso como rota de fuga nas seguintes situações:

- a) Como segunda alternativa de fuga para torres elevadas com uso restrito, onde a ocupação não ultrapasse 90 pessoas, em construção completamente protegida por sistema de chuveiros automáticos e que a mesma possua escadas adequadamente dimensionadas para retirar toda a população como primeira alternativa de fuga; e
- b) Como parte da rota de fuga acessível, interligada a áreas de refúgio acessíveis, dentro de antecâmaras protegidas.

Assim, este código, em seu corpo, ainda não admite o uso de elevadores como parte integrante de rotas de fuga em edificações, porém apresenta, no seu Anexo B (*Annex B- Elevators for occupant-controlled evacuation prior to phase I Emergency recall operations*), a possibilidade de uso deste equipamento como meio de abandono, antes do controle do mesmo pela equipe de emergência. Este anexo, incluído pela primeira vez na edição de 2009, considera o uso da tecnologia atual de elevadores, o reforço dos componentes construtivos envolvidos e de um sistema amplo de comunicação / informação ao usuário.

Resumidamente, o Anexo B tem como princípio, possibilitar o uso dos elevadores para abandono no período anterior à interrupção da operação dos mesmos, que deve acontecer quando o sistema de detecção de incêndio indica a presença de fumaça na antecâmara (hall) dos elevadores, na casa de máquinas ou no interior da cabine. Assim que a fumaça é detectada num destes compartimentos, o sistema é acionado para que todos os elevadores sejam recolhidos para o térreo e possam apenas ser comandados manualmente pela equipe de emergência / bombeiros.

Para que as pessoas possam utilizar os elevadores neste período, o hall de elevadores deve estar protegido dos efeitos do incêndio por meio de compartimentação corta-fogo, formando uma antecâmara protegida e que deve ter comunicação direta

com uma escada de emergência, para assegurar que os usuários possam utilizar a escada no caso da interrupção do funcionamento do elevador, sem precisar procurar por saídas de emergência fora deste espaço. Vários outros cuidados são descritos neste Anexo, para viabilizar o uso destes elevadores como meio de fuga seguro, destacando-se: o sistema de detecção e alarme ágil para que os ocupantes tenham condições de iniciar o abandono do edifício o quanto antes; a alimentação alternativa de energia para funcionamento dos elevadores; o sistema de comunicação eficiente para avisar os usuários sobre as condições de uso dos elevadores; o sistema de drenagem de água de combate ao fogo de hidrantes e chuveiros automáticos, para impedir que os elevadores sejam afetados pela água, etc.

Considerar elevadores como alternativa de fuga para os ocupantes dos edifícios não isenta, neste Anexo, o projetista de prover saídas em quantidade e larguras suficientes para evacuação de toda a população por meio de escadas, atendendo o estabelecido no corpo principal do Código.

O conteúdo do Anexo B pode ser adotado, voluntariamente, por projetistas / proprietários que desejam oferecer uma alternativa de abandono da edificação ou pode se tornar compulsório, caso uma autoridade local o adote desta forma para algumas situações específicas.

5.4.2.12 Áreas de refúgio e saídas horizontais

Área de refúgio tem sua definição apresentada no Capítulo 3, item 3.3.20 como: *“Uma área que é (1) um pavimento de um edifício onde o edifício todo é protegido por um sistema de chuveiros automáticos e possui, pelo menos, duas salas ou espaços acessíveis, cada um deles separado do outro por paredes à prova de fumaça; ou (2) um espaço localizado na rota de fuga que leva a uma saída no exterior do edifício, que é protegido dos efeitos do incêndio, por separação de outros espaços do mesmo edifício ou em virtude de sua localização, permitindo que o tempo de fuga seja expandido”* (COTÉ; HARRINGTON, 2009, p.20, tradução nossa).

Ainda, o sub-item 3.3.20.1 acrescenta a definição de *“área de refúgio acessível (accessible area of refuge)”* como *“uma área de refúgio que atende aos requisitos de rota*

acessível da norma ICC/ANSI A117.1 American National Standard for Accessible and Usable Buildings and Facilities” (COTÉ; HARRINGTON, 2009, p.20, tradução nossa). As áreas de refúgio acessíveis são tratadas no sub-item de “Rotas de fuga acessíveis” deste capítulo.

Por outro lado, temos a definição de saídas horizontais em *“3.3.75.1 Horizontal Exit”* como: *“Um caminho de passagem de um edifício para uma área de refúgio em outro edifício com cota de nível próximo, ou uma passagem por meio de uma barreira corta-fogo para uma área de refúgio no mesmo edifício que garanta proteção contra os efeitos do fogo e fumaça originários de uma área do incêndio e de áreas adjacentes”* (COTÉ; HARRINGTON, 2009, p.28, tradução nossa).

O tema é tratado, tecnicamente, na Seção *“7.2.4 Horizontal Exits”* que se refere a uma combinação de paredes resistentes ao fogo e portas corta-fogo com possibilidade de passagem de uma área do edifício à outra, onde cada uma destas áreas é um compartimento corta-fogo, independente do outro. Tal combinação permite, em edifícios de múltiplos pavimentos com grande população, a otimização das saídas de pavimento (verticais), pois parte do abandono pode se dar ao compartimento vizinho por saídas horizontais, reduzindo o número total de saídas verticais, sem reduzir o número total de saídas para um local protegido.

Figura 5.30 – Exemplo comparativo de um mesmo edifício, sem (a) e com (b) adoção das saídas horizontais.

Fonte: Coté; Harrington (2009, p.205-206).

Na Subseção *“7.2.4.2 Fire Compartments”* são determinadas as condições a serem atendidas por compartimentos com conexão a saídas horizontais, tais como: a) o

número mínimo de saídas verticais a serem mantidas; b) a garantia de rotas contínuas das saídas horizontais até saídas verticais, ou outras diretas para o exterior, em todas as áreas compartimentadas; c) a possibilidade de abertura das portas de acesso às saídas horizontais sem chave, na direção da fuga; d) a área mínima de cada área compartimentada, que deve ser suficiente para abrigar a população de todo o pavimento, com uma área de pelo menos $0,28 \text{ m}^2$ por pessoa.

A Subseção “7.2.4.3 Fire Barriers” apresenta as condições de desempenho ao fogo e fumaça que devem ser atendidas pelos elementos construtivos que compõem os compartimentos designados na Seção 7.2.4 (resistência ao fogo das vedações (portas, paredes e lajes) e da estrutura, selagem corta-fogo, etc.).

5.4.2.13 Piso de descarga

Este tema é tratado na Seção “7.7– Discharge from Exits”. A princípio, exige-se que as saídas verticais terminem no piso de descarga, diretamente no logradouro público ou numa saída de descarga externa ao edifício (opção A da Figura 5.31). No entanto, permite-se em “7.7.2 Discharge through areas on level of exit discharge”, que existam espaços intermediários que levem os ocupantes dos pavimentos superiores para a descarga fora da edificação, na proporção máxima de 50% do número de saídas e da capacidade total de saída requerida. Estas áreas devem estar, de alguma forma, protegidas dos efeitos do incêndio no piso de descarga, por meio da instalação de chuveiros automáticos no edifício (opção C da Figura 5.31), de paredes resistentes ao fogo ao longo de seu caminho (opção B da Figura 5.31) ou de antecâmaras protegidas de dimensões limitadas entre a saída da escada e a saída da edificação / descarga para o exterior (opção D da Figura 5.31).

Figura 5.31 – Exemplos de tipos de saída no piso de descarga.

Fonte: Coté; Harrington (2009, p.273).

No entanto, quando o edifício exige escadas à prova de fumaça, o caminho entre o fim da escada e o exterior do edifício no piso de descarga deve ser obrigatoriamente protegido com paredes resistentes ao fogo e ser de uso exclusivo para descarga (Subseção 7.2.3.5), sem qualquer outro tipo de acesso, não sendo aceita a condição acima descrita.

5.4.2.14 Rotas de fuga acessíveis

A Subseção “7.5.4 Accessible Means of Egress” determina que áreas acessíveis para pessoas com mobilidade reduzida devem ter pelo menos duas saídas de emergência acessíveis, a menos que o edifício permita apenas uma saída de emergência para toda a população. Assim, o acesso a uma área de refúgio acessível ou de uma saída acessível até uma descarga deve ser provido dentro de uma distância aceitável de percurso. Uma saída acessível deve atender também aos requisitos da norma ICC/ANSI A 117.1 *American National Standard for Accessible and Usable Buildings and Facilities*.

Onde duas rotas de fuga acessíveis são exigidas, as saídas devem ser distribuídas de tal forma que a distância entre elas seja maior que a metade do comprimento

máximo da diagonal maior do edifício ou área a que servem. Esta distância deve ser medida em linha reta dos cantos mais próximos às saídas ou acessos às saídas.

Se uma escada fizer parte da rota de fuga acessível, deve atender aos requisitos de 7.2.12.2.3, que inclui largura mínima de 1220mm ao longo de todo o seu percurso, para permitir que três pessoas possam descer as escadas carregando uma pessoa em cadeira de rodas com segurança.

Se um elevador for considerado na rota acessível, deve atender aos requisitos de 7.2.12.2.4, que inclui painel de controle para bombeiros, suprimento de energia alternativa para funcionamento e proteção do compartimento que o abriga, para garantir que seja à prova de fumaça. Se o edifício tiver pavimentos acessíveis que se situam quatro ou mais pavimentos acima ou abaixo do piso de descarga, deve haver pelo menos um elevador servindo à rota de fuga acessível.

O código não exige a instalação de áreas de refúgio acessíveis; ele exige rotas de fuga acessíveis. A forma mais prática de atender a este último requisito em edifícios de múltiplos pavimentos é provendo-os de áreas de refúgio.

Áreas de refúgio acessíveis devem ser providas de um sistema de comunicação de duas vias entre essas áreas e uma central de controle de emergência. Uma sinalização de identificação de cada área de refúgio acessível deve ser instalada no seu interior, próximo ao sistema de comunicação (7.2.12.2.5).

Cada área de refúgio acessível deve ser dimensionada para acomodar uma cadeira de rodas (760mm x 1220mm) para cada 200 ocupantes do edifício, com base na população que será servida por esta área. O espaço para cadeiras de rodas não pode diminuir a largura efetiva da rota de fuga (corredores, rampas, patamares, etc.) que, por sua vez, não pode nunca ser inferior a 915mm (7.2.12.3).

Figura 5.32 – Exemplo de pavimento com áreas de refúgio criadas por saída horizontal em edificação sem instalação de chuveiros automáticos.

Fonte: Coté; Harrington (2009, p.233).

Figura 5.33 – Escada de emergência utilizada como área de refúgio acessível.

Fonte: Coté; Harrington (2009, p.231).

Para áreas de refúgio que não excedam 93 m^2 , deve-se demonstrar, por cálculo, que as condições mínimas de sobrevivência dentro da área de refúgio serão mantidas por um período mínimo de 15 minutos, a partir do momento que o espaço adjacente atinge as condições mais críticas do incêndio (7.2.12.3.2).

O acesso de qualquer cadeira de rodas dentro da área de refúgio não poderá ser feita passando-se por mais de uma (outra) cadeira de rodas (7.2.12.3.3).

Cada área de refúgio acessível deve estar separado do restante do edifício por barreiras resistentes a 1 hora de fogo, no mínimo.

5.4.2.15 Sistemas complementares

No capítulo 7 do Código constam como sistemas complementares às saídas de emergência, a Iluminação das rotas de fuga (7.8), a Iluminação de emergência (7.9) e a

Sinalização das rotas de fuga (7.10), cujo conteúdo é apresentado resumidamente, a seguir.

A Seção 7.8, *“Illumination of Means of Egress”* determina que os edifícios devam ter suas rotas de fuga iluminadas artificialmente, incluindo escadas, corredores, rampas e passagens para uma saída, assim como os componentes da rota de fuga do piso de descarga até o logradouro público e determina a iluminância mínima de 108 lux para escadas e 10,8 lux para o deslocamento horizontal, ambas medidas no nível do piso.

Em 7.9, *“Emergency Lighting”*, definem-se questões sobre o funcionamento do sistema de iluminação de emergência para efeito de abandono da edificação. Se o acionamento da iluminação de emergência depende de uma troca da fonte de energia, não é permitido um intervalo superior a 10s nesta troca. O tempo mínimo de funcionamento desta iluminação deve ser de 90 minutos. Os demais requisitos técnicos são referenciados em normas como: *NFPA 110 Standard for Emergency and Standby Power Systems*; *NFPA 70 National Electrical Code*; *NFPA 111 Standard on Stored Electrical Energy Emergency and Standby Power Systems* e *ANSI/UL 924 Standard for Emergency Lighting and Power Equipment*. Esta Seção também trata, ao seu final, das questões de inspeção periódica e manutenção do sistema de iluminação de emergência.

A seção 7.10, *“Marking of Means of Egress”*, determina que as rotas de fuga devem ser sinalizadas de acordo com o estabelecido por tipo de ocupação, estabelecendo os requisitos mínimos (7.10.1) relativos às questões como:

- Localização da sinalização das saídas;
- Sinalização de saída complementar e próximo ao piso;
- Sinalização complementar de balizamento, também próximo ao piso e com iluminação interna (fotoluminescente);
- Características de dimensões, cores e visibilidade adequadas para fácil identificação.

Além disso, os seguintes temas são tratados, sobre a sinalização:

- Sinalização direcional (7.10.2 *Directional Signs*);
- Pictogramas e letras (7.10.3 *Sign Legend*);
- Fonte de energia (7.10.4 *Power Source*);
- Iluminação da sinalização (7.10.5 *Illumination of Signs*);
- Sinalização externamente iluminada (7.10.6 *Externally Illuminated Signs*);
- Sinalização internamente iluminada (7.10.7 *Internally Illuminated Signs*);
- Sinalização especial (7.10.8 *Special Signs*);
- Testes e manutenção (7.10.9 *Testing and Maintenance*).

Os cuidados com os sistemas prediais são especificados no capítulo 9 “*Building Service and Fire Protection Equipment*” do Código, onde são tratados os seguintes temas:

- Instalações prediais de gás e elétrica (9.1 *Utilities*);
- Sistemas de calefação, ventilação e ar-condicionado (9.2 *Heating, Ventilating, and Air-Conditioning*);
- Sistema de controle de fumaça (9.3 *Smoke Control*);
- Elevadores, escadas rolantes e esteiras (9.4 *Elevators, Escalators, and Conveyors*);
- Dutos de serviço de lixo e de lavanderia (9.5 *Rubbish hutes, Incinerators, and Laundry Chutes*);
- Sistema de detecção, alarme e comunicação de emergência (9.6 *Fire Detection, Alarm, and Communications Systems*);
- Sistema de combate ao fogo (9.7 *Automatic Sprinklers and Other Extinguishing Equipment*);
- Inspeções e testes especiais (9.8 *Special Inspections and Tests*).

Por último, este Capítulo 7 do Código aborda dois temas específicos, onde o tratamento das saídas de emergência é especial, a saber;

- Ocupações com conteúdo de alto risco (7.11 *Special provisions for Occupancies with High Hazard Contents*);
- Salas de máquinas, de caldeiras e de fornos (7.12 *Mechanical Equipment Rooms, Boiler Booms, and Furnace Rooms*).

5.4.3 Análise comparativa

Comentários pontuais sobre diferenças existentes, principalmente entre os três primeiros documentos analisados foram realizados ao longo da apresentação do texto deste capítulo. Essencialmente, a norma brasileira NBR 9077 e a Instrução Técnica Nº 11 são documentos muito similares, pois a primeira deu origem à segunda, que sofreu pequenas alterações e adequações para aplicação pelo Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo. O corpo técnico deste Corpo de Bombeiros viu a necessidade de adequação da norma brasileira neste caso, porém, outras normas brasileiras foram adotadas integralmente em diversas Instruções Técnicas. A última versão da norma brasileira NBR 9077 foi publicada em 1993, portanto, há quase duas décadas. Parte das alterações inseridas pelo Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo e que deu origem à IT 11 reflete a falta de revisões mais recentes e periódicas desta norma.

O COE apresenta, aparentemente, uma forma de dimensionamento diferente de saídas de emergência da norma brasileira NBR 9077, de longe, a mais utilizada no país. Porém, foi possível notar que, ainda assim, algumas semelhanças são mantidas entre este documento e a referida norma brasileira. Por exemplo, ambos se utilizam da capacidade de passagem com valores idênticos ou similares, sendo que a norma brasileira apresenta esses valores para cada tipo de ocupação, enquanto o COE distingue apenas 3 tipos de uso (Residencial, Serviços de saúde e Demais usos). No entanto, no COE este valor de capacidade de passagem é bem mais elevado para “circulações coletivas protegidas” do que para circulações coletivas comuns (sem proteção), enquanto que tanto a norma NBR 9077 como a IT 11 não fazem a esta distinção para utilização deste valor no cálculo de largura de saídas. Mas é importante lembrar que os

valores elevados de K para escadas coletivas protegidas são “compensados” no cálculo da lotação corrigida comentado em seguida.

A Tabela 5.13 apresenta um quadro comparativo dos valores de capacidade de passagem por unidade ou módulo de saída em função do tipo de uso explicitado em ambos os documentos:

Tabela 5.13 – Comparação entre valores de capacidade de passagem em função do tipo de via de escoamento e tipo de uso.

Uso/Ocupação	Detalhe do Uso	Corredores			Rampas			Escadas			Portas	
		NBR 9077	COE ¹	COE ²	NBR 9077	COE ¹	COE ²	NBR 9077	COE ¹	COE ²	NBR 9077	COE
Residencial		60	60	240	45	60	240	45	45	180	100	
Serviços de Hospedagem		60	100	250	45	100	250	45	65	160	100	
Comercial		100	100	250	60	100	250	60	65	160	100	
Serviço Profissional		100	100	250	60	100	250	60	65	160	100	
Educação e cultura física	Escolas em geral	100	100	250	60	100	250	60	65	160	100	
	Pré-escolas e escolas especiais	30	100	250	22	100	250	22	65	160	30	
Local de reunião de Público		100	100	250	75	100	250	75	65	160	100	
Serviço automotivo e semelhantes		100	100	250	60	100	250	60	65	160	100	
Serviço de saúde institucional	Clínicas e consultórios	60	30	75	45	30	75	45	22	55	100	
	Hospital e outros, com internação	30	30	75	22	30	75	22	22	55	30	
	Repartição pública dos três poderes / prisões em geral	60	100	250	45	100	250	45	65	160	100	
Indústria		100	100	250	60	100	250	60	65	160	100	
Depósito		100	100	250	60	100	250	60	65	160	100	
Explosivos		100	100	250	60	100	250	60	65	160	100	

Legenda:

COE¹: Valor de “K” para circulação coletiva.

COE²: Valor de “K” para circulação coletiva protegida.

Valores idênticos

Valores próximos (variação de 5 a 10 unidades)

Fontes: Botelho; Freitas (2008, p. 103); São Paulo (2005, p. 261).

É possível notar que enquanto o COE admite para rampas os mesmos valores de capacidade de passagem de corredores; na NBR 9077 e na IT 11, são atribuídos para rampas os mesmos valores de capacidade das escadas. Isso explica a falta de similaridade dos valores apresentados na coluna “Rampas” da Tabela 5.13. Considerando que, atualmente, rampas em circulações de uso coletivo devem ser dimensionadas com declividade máxima de 8,33%, dentre outros requisitos a serem atendidos da NBR 9050 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004), garante-se um deslocamento mais seguro e confortável, mais similar à utilização de um corredor (via horizontal) do que de uma escada. Vale ressaltar que o Life Safety Code (NFPA 101) também classifica rampas como rotas de fuga horizontais.

Por outro lado, o texto do COE não cita, em nenhum momento, as dimensões a serem adotadas pelas portas em rotas de fuga, deixando esta questão em aberto. A NBR 9077 e a IT 11, por sua vez, ao considerar que a capacidade de passagem de portas tem valor igual ao de corredores, está admitindo que portas não limitam o fluxo de pessoas, mesmo instaladas em corredores e com dimensões inferiores a este último.

No entanto, a grande diferença de conteúdo entre estes documentos está nos fatores presentes no cálculo da largura das saídas do COE, como o incremento da população (lotação corrigida) em função da altura do pavimento ocupado mais elevado e a diminuição da largura da saída em função de maior proteção das rotas de fuga (espaços de circulação protegidos) dada pelo fator K (capacidade da passagem).

A equação da lotação corrigida considera, essencialmente, o fator da altura do pavimento de saída ao último pavimento ocupado (H_o) e o fator de capacidade da passagem (K), conforme pode ser visto na equação 34, já apresentada anteriormente:

$$L_c = 60 \cdot L_o \cdot Y / K \quad \text{(Equação 34)}$$

Onde:

- L_c : Lotação corrigida;

- Lo: Lotação de origem;
- K: Capacidade de passagem, dada na Tabela 5.13.

Sendo Y, dado pela equação 35, também já apresentada anteriormente.

$$Y = (H_o + 3) / 15 \geq 1 \quad (\text{Equação 35})$$

Onde:

- Ho: altura, medida em metros, entre a cota do pavimento de saída e a cota do último pavimento, excluído o ático.

É possível verificar que a Lotação corrigida (Lc) em edifícios de múltiplos pavimentos pode variar, caso a Lotação de origem (Lo) de cada pavimento varie. No entanto, o valor de “Y” será sempre o mesmo para qualquer pavimento, pois o “Ho” é imutável para um mesmo edifício. Assim, para vias de escoamento horizontal, pode-se variar o “Lo” em função da lotação do pavimento considerado para obter a sua lotação corrigida, assim como “K” em função do uso do pavimento e tipo de proteção da circulação, porém, utilizando-se sempre o valor fixo de “Y” ou “Ho”. Isto significa que o fator de segurança gerado pelo valor de “Ho” influencia, igualmente, a lotação corrigida de qualquer pavimento de um edifício de múltiplos pavimentos.

Para vias de escoamento vertical (escadas e rampas), o texto do COE exige que o dimensionamento da via, para todos os pavimentos que venham a utilizá-la, seja realizado tomando o pavimento de maior lotação dentre eles, independentemente da altura em que este se localiza, além da consideração do fator de segurança já incluído no valor de “Y”.

É possível perceber que tanto a lotação corrigida (Lc) como o fator de altura (Y) são coeficientes de segurança incluídos na fórmula básica de cálculo de unidades de passagem ou saída também encontrada na NBR 9077 / IT 11, pois após obter o valor da lotação corrigida, divide-se este valor por módulos de 0,30m para, segundo o COE, ter o

número de unidades correspondentes a “módulos de 0,30m, adequados ao escoamento de 30 pessoas por módulo, respeitada a largura mínima de 1,20m” (BOTELHO; FREITAS, 2008, p.102).

Como já visto ao longo da apresentação dos três documentos, existem várias pequenas diferenças não só no resultado do dimensionamento das larguras das saídas horizontais e verticais, como também nas distâncias a percorrer, nos tipos de escadas adotados para cada situação, dentro outros. Tais diferenças são apresentadas e comentadas num dimensionamento comparativo realizado no Capítulo 7 desta tese, especificamente para edifícios altos de escritórios.

Também é necessário comentar que muitas das questões levantadas até aqui, ao longo deste Capítulo e, especificamente nesta Seção, são decorrentes de regulamentações extremamente simplistas e generalistas, se comparadas, principalmente, à documentação de referência, que é o Life Safety Code (COTÉ; HARRINGTON, 2009), que teve seu Capítulo 7, referente às questões gerais sobre saídas de emergência, analisado neste Capítulo.

É possível constatar, ao analisar Faillace (1989), que a Norma NBR 9077: 1993, assim como suas versões anteriores, se apropriaram de alguns dos princípios básicos de dimensionamento de códigos dos Estados Unidos (Life Safety Code /National Fire Protection Association) e do Canadá (National Building Code of Canada/ National Research Council of Canada) vigentes na época.

Por exemplo, a largura da unidade de passagem da norma brasileira, de 0,55m, corresponde à largura de 22 polegadas (560mm) adotada no Life Safety Code até 1987; é curioso também verificar que este código admitia a aproximação para meia unidade de passagem, com valor correspondente à 12 polegadas (305mm) (COTÉ;HARRINGTON, 2009, p. 243), similar à medida de módulos adotada pelo COE.

Segundo Coté; Harrington (2009), uma mudança significativa no cálculo da capacidade das saídas foi introduzida no Life Safety Code, em sua edição de 1988, quando a largura dada por unidades de passagem foi substituída pelo sistema de pequenos incrementos de largura e capacidade, em função da população atendida pela

rota de fuga considerada. Os mesmos autores comentam que uma pequena diferença foi notada na largura obtida pelos dois métodos de cálculo nos casos onde o cálculo pelo método novo resultava em valores próximos, e sempre superiores, aos valores múltiplos de unidades ou meia unidade de passagem. Coté; Harrington (2009, p. 244-245) também explicam que a origem destes valores incrementais está no quociente entre o tradicional valor da unidade de passagem e a capacidade da unidade de passagem em questão. Por exemplo, para uma unidade de passagem (560mm) de escada com capacidade de passagem de 75 pessoas, o valor incremental é de 560 dividido por 75, ou seja, aproximadamente 7,6mm (valor encontrado na coluna do código NFPA 101 da Tabela 5.14). Os demais valores incrementais maiores contêm fatores de segurança considerados devido aos riscos associados ao uso da edificação e ao perfil dos ocupantes.

Sobre este assunto, Faillace (1989, p.76) comenta que a fórmula linear foi sugerida pela Comissão de Revisão da NBR 9077, em reunião ocorrida em 01/09/1989 no SINDUSCON/SP e que esta constou no projeto de norma encaminhado à ABNT no mês de Julho de 1990. No entanto, a fórmula foi retirada posteriormente, pois os resultados do dimensionamento se mostraram muito maiores do que com a fórmula tradicional. A fórmula linear sugerida apresentava o valor de 10mm por pessoa para ocupações em geral e de 20mm por pessoa para hospitais e assemelhados. Estes valores eram próximos aos valores observados, segundo o mesmo autor, no código canadense (National Building Council of Canada) de 1990. No entanto, verifica-se, comparando estes valores (Tabela 5.14) aos valores adotados na edição de 2009 do NFPA 101 - Life Safety Code (COTÉ; HARRINGTON, 2009, p.244), que os primeiros eram consideravelmente maiores

Tabela 5.14 – Valores incrementais para cálculo de largura de escadas de emergência.

Uso	Escadas (largura por pessoa, em mm)		
	NFPA 101	NBCC*	Faillace (1989)
Asilos, creches, reformatórios, etc.	10	18,4	20
Estabelecimentos de saúde com instalação de sistema de chuveiros automáticos	7,6		
Estabelecimentos de saúde sem instalação de chuveiros automáticos	15		
Locais com concentração de alto risco	18	9,2	10
Todos os demais tipos	7,6		

*National Research Council of Canada (1990 apud FAILLACE, 1989, p.77).

Em Faillace (1989), não há comentários que permitam rastrear a origem dos valores incrementais propostos por ocasião da revisão da norma NBR 9077.

O NFPA 101 - Life Safety Code é o documento prescritivo mais completo não só para dimensionamento de saídas de emergência, mas para determinar medidas de proteção da vida contra incêndios em edificações, dentre os analisados neste capítulo. O Capítulo 7 deste referido código define, especificamente, todos os parâmetros não só de dimensionamento de saídas, mas também de especificação de materiais e componentes do sistema de rotas de fuga. Neste capítulo da tese, procurou-se selecionar e comentar os principais tópicos do código em questão. É possível verificar, até por meio das figuras ilustrativas apresentadas, o grande nível de detalhamento que este documento apresenta. Neste caso é, também, necessário lembrar que o documento analisado foi o do código NFPA 101 comentado (COTÉ; HARRINGTON, 2009), onde esclarecimentos adicionais são apresentados, além do texto “normativo”, facilitando sua interpretação. Verifica-se, neste caso, a falta de documento semelhante para os textos normativos e legislativos brasileiros sobre a questão. O texto do COE analisado neste trabalho também é uma publicação comentada por Botelho; Freitas (2008), no entanto, de forma muito superficial, no que se refere especificamente às saídas de emergência. Faillace (1989) também, de certa forma, comenta da versão em revisão da NBR 9077, porém seus comentários são gerais e o texto apresentada não é corresponde à versão final publicada em 1993.

Para aplicação dos parâmetros de projeto de saídas de emergência do código NFPA 101- Life Safety Code, é necessário, além do conhecimento do seu capítulo 7, consultar o capítulo específico do código, de acordo com o tipo de uso da edificação e, também, considerar sua situação construtiva (edificação nova ou existente). Assim, é possível verificar que as particularidades de cada tipo de uso são abordadas com muito mais profundidade do que nos documentos legislativos e normativos brasileiros aqui analisados, onde as diferenças de exigências por tipo de uso são poucas e, na maioria das vezes, simplesmente definidas por meio de tabelas. Novamente, ressalta-se a forma simplista e genérica como o assunto é tratado no caso brasileiro.

No capítulo 7 desta tese, exemplos de dimensionamento também aplicando os parâmetros do código NFPA 101 serão apresentados e criticamente analisados, em conjunto com o dimensionamento com base nos textos normativos e legislativos brasileiros abordados neste capítulo.

6 SAÍDAS DE EMERGÊNCIA EM PROJETOS DE ENGENHARIA DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO

6.1 Histórica da aplicação do conceito de desempenho na segurança contra incêndio

O projeto de segurança contra incêndio com base em desempenho (ou com base em decisões de engenharia) vem sendo discutido há, pelo menos duas décadas, em vários países, principalmente, em nações desenvolvidas, como Reino Unido, Suécia, Japão, Estados Unidos, Canadá, Austrália, Nova Zelândia, dentre outros. O desenvolvimento de métodos de projeto com base no desempenho tem forte vínculo com o domínio do conhecimento da “ciência do fogo (fire safety science)” nos centros de pesquisas desses países, assim como com a capacidade de transferência desses conhecimentos para a aplicação prática, por meio da formação e consolidação da área de conhecimento denominada “Engenharia de Segurança Contra Incêndio (*Fire Safety Engineering*)”.

Segundo o Fire Code Reform Centre Limited (1996), o primeiro documento desenvolvido e publicado no mundo sobre o assunto foi uma minuta de código com base no desempenho para o projeto de sistemas de segurança contra incêndio, em maio de 1991, na Austrália. Este documento, denominado “*Draft National Building Fire Safety Systems Code*”, era resultado de um trabalho iniciado de 1989 no “*The Warren Centre for Advanced Engineering*” da Universidade de Sydney, coordenado por um grupo de estudo do projeto denominado “*Fire Safety and Engineering Project*”.

Esta minuta de código teve como base para seu desenvolvimento a metodologia de avaliação de risco (*risk assessment methodology*), introduzindo o conceito de **subsistemas de engenharia** de segurança contra incêndio e a **avaliação das medidas de projeto ao longo do seu processo de desenvolvimento**. Em seguida, outros documentos que adotavam os principais conceitos e princípios deste “*Draft National Building Fire Safety Systems Code*” foram desenvolvidos, tais como o do *British Standard Institution (BSI)*, do Reino Unido e os dos grupos de trabalho da *International Organization for Standardization (ISO)*.

Mais tarde, o “Draft National Building Fire Safety Systems Code” se transformou num documento de orientação intitulado “*Fire Engineering Guidelines*” (FIRE CODE REFORM CENTRE LIMITED, 1996), com atualizações e adequações conseqüentes do desenvolvimento do tema na Austrália, que, por sua vez, foi reeditado com atualizações em 2001 pelo *Australian Building Codes Board*. Em 2005, este documento teve seu título alterado para “*International Fire Engineering Guidelines (IFEG)*” (AUSTRALIAN BUILDING CODES BOARD, 2005) e seu conteúdo revisado e adequado para atender às necessidades de outras instituições nacionais de outros países, que aderiram ao método, como o *National Research Council of Canada* (NRC), do Canadá, o *International Code Council* (ICC) dos EUA, o *Department of Building and Housing* (DBH) da Nova Zelândia.

No Reino Unido, o British Standard Institution lançou o documento “*DD*⁴⁰ 240:1997 – *Fire safety engineering in buildings*” (BRITISH STANDARD INSTITUTION, 1997) que se consolidou no documento, publicado em 2001 e denominado “*BS 7974:2001 – Application of fire safety engineering principles to the design of buildings – Code of practice*” (BRITISH STANDARD INSTITUTION, 2001); este último, com caráter normativo. Esta documentação é complementada por uma série de oito documentos sob o título *PD*⁴¹7974 - *Application of fire safety engineering principles to the design of buildings*, a saber:

- Part 0: Guide to design framework and fire safety engineering procedures;
- Part 1: Initiation and development of fire within the enclosure of origin (Sub-system 1);
- Part 2: Spread of smoke and toxic gases within and beyond the enclosure of origin (Sub-system 2);
- Part 3: Structural response and fire spread beyond the enclosure of origin (Sub-system 3);
- Part 4: Detection of fire and activation of fire protection systems (Sub-system 4);
- Part 5: Fire service intervention (Sub-system 5);

⁴⁰ BSI (British Standards Institute) é o órgão normativo britânico e a categoria DD (Draft for Development) significa que o documento não é normativo e que deve ser utilizado de forma temporária, de forma que informações e experiências de sua aplicação prática devem ser avaliadas. A sua revisão deve ser realizada num período não superior a 2 anos.

⁴¹ A categoria PD (Published Document) do BSI é de documentos que dão suporte à uma norma, no caso, especificamente à BS 7974:2001.

- Part 6: Evacuation (Sub-system 6);
- Part 7: Probabilistic risk assessment (Sub-system 7).

Por sua vez, a *International Organization for Standardization* (ISO) lançou, em 1999, o documento ISO/TR⁴² 13387:1999 – *Fire safety engineering* (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1999), constituído de 8 partes, saber:

- Part 1: Application of fire performance concepts to design objectives;
- Part 2: Design fire scenarios and design fires;
- Part 3: Assessment and verification of mathematical fire models;
- Part 4: Initiation and development of fire and generation of fire effluents;
- Part 5: Movement of fire effluents;
- Part 6: Structural response and fire spread beyond the enclosure of origin;
- Part 7: Detection, activation and suppression;
- Part 8: Life safety – Occupant behaviour, location and condition

Uma década depois, complementarmente, a ISO lança a norma intitulada *ISO 23932:2009 - Fire safety engineering – General principles* (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2009) que estabelece os princípios gerais para o projeto de segurança contra incêndio com base em métodos de engenharia e faz referência às ISO/TR 13387 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1999).

O Quadro 6.1 apresenta os títulos dos subsistemas (tradução nossa) que cada um dos documentos em questão contempla, dentro do sistema de engenharia de segurança contra incêndio.

⁴² ISO (*International Organization for Standardization*) é uma federação internacional que congrega órgãos nacionais de normatização, com base na Europa, da qual a Associação Brasileira de Normas técnicas (ABNT) é signatária. As publicações do tipo TR (*Technical Report*) são aquelas em que não existe valor normativo para os países membros sendo que este documento em específico, está enquadrado no tipo 2, isto é, é um tema ainda em desenvolvimento ou onde por alguma razão não há consenso imediato para a publicação como norma internacional. Tal situação é revista a cada 3 anos.

International Fire Engineering Guidelines (Australia)	BS PD 7974 (Reino Unido)	ISO/TR 13387 (Internacional)
<i>Sub-sistema A</i>	<i>Sub-sistema 1</i>	<i>Sub-sistema 1</i>
Início, Desenvolvimento e Controle do Incêndio	Início e desenvolvimento do incêndio no compartimento de origem	Início e desenvolvimento do incêndio e geração dos seus efluentes (Parte 4)
<i>Sub-sistema B</i>	<i>Sub-sistema 2</i>	<i>Sub-sistema 2</i>
Desenvolvimento, propagação e controle da fumaça	Propagação da fumaça e de gases tóxicos no interior e além do compartimento de origem.	Movimento dos efluentes do incêndio (Parte 5)
<i>Sub-sistema C</i>	<i>Sub-sistema 3</i>	<i>Sub-sistema 3</i>
Propagação, impacto e controle do incêndio	Resposta estrutural e de propagação do fogo além do compartimento de origem.	Resposta estrutural e de propagação do fogo além do compartimento de origem. (Parte 6)
<i>Sub-sistema D</i>	<i>Sub-sistema 4</i>	<i>Sub-sistema 4</i>
Detecção, alarme e combate ao fogo.	Detecção do incêndio e ativação dos sistemas de proteção.	Detecção, ativação e combate ao fogo (Parte 7)
<i>Sub-sistema E</i>	<i>Sub-sistema 5</i>	<i>Sub-sistema 5</i>
Evacuação e controle dos ocupantes	Intervenção dos services de bombeiros.	Segurança à vida – Comportamento, localização e condição dos ocupantes (Parte 8)
<i>Sub-sistema F</i>	<i>Sub-sistema 6</i>	---
Intervenção dos services de bombeiros.	Evacuação	---

Quadro 6.1 - Comparação dos títulos dos subsistemas dos documentos analisados.

Inicialmente, neste capítulo, é analisada a estrutura dos processos de desenvolvimento do projeto de segurança contra incêndio que constam nos três documentos considerados, salientando as diferenças e os pontos em comum existentes nos mesmos.

A seguir, são apresentados e discutidos os requisitos e parâmetros de avaliação vinculados ao projeto específico de saídas de emergência, contidos num dos “subsistemas”, a saber:

- ISO/TR 13387-8: 1999 – *Fire safety engineering – Part 8: Life safety – Occupant behaviour, location and condition (Sub-system 5 of the total fire safety design system)*;

- BS PD 7974-6:2004 – *The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings – Part 6: Human factors: Life safety strategies – Occupant evacuation, behaviour and condition (Sub-system 6)*; e
- *International Fire Engineering Guidelines (IFEG) - Edition 2005 – Occupant Evacuation and Control (Sub-system E)*.

Conforme pode ser observado nos documentos acima citados, apesar de variações nos títulos, todos apresentam a questão da segurança à vida como um dos subsistemas a ser considerado no projeto global de segurança contra incêndio de edificações.

É importante também notar que os referidos documentos não são normativos ou regulamentadores, isto é, são apresentados como guias de orientação para o desenvolvimento de projetos de segurança contra incêndio com base em decisões de engenharia. Estes não têm caráter compulsório, pois não existe ainda um total consenso sobre os métodos adotados e, em muitas situações, como é o caso do requisito da “segurança à vida”, nem há dados suficientemente confiáveis ou aplicáveis para todas as situações. Tal condição acarreta numa maior responsabilidade do projetista em relação às decisões de projeto adotadas e aos critérios e parâmetros assumidos, assim como numa dúvida por parte das autoridades competentes em relação aos parâmetros e as ferramentas para análise e aprovação desse projeto.

Adicionalmente aos documentos citados acima, o Capítulo 5 da norma NFPA 101 – Life Safety Code (COTÉ; HARRINGTON, 2009), cujo título é “Opção com base no Desempenho” (*Performance-Based Option*) também será analisado aqui, devido às suas particularidades, no que se refere ao mesmo tema, ou seja, na abordagem alternativa às regulamentações de caráter prescritivo.

6.2 Processo de Projeto de Segurança contra Incêndio

Os documentos citados, a saber: Australian Building Codes Board (2005); British Standards Institution (2001); International Organization for Standardization (2009) e

Cote; Harrington (2009) orientam na estruturação do processo de desenvolvimento do projeto de segurança contra incêndio com base no desempenho.

O processo de projeto envolve a avaliação de uma ou mais soluções alternativas propostas, considerando questões como efetividade da medida, custo de implementação e manutenção, viabilidade técnica, sustentabilidade, etc.

O processo de avaliação é apresentado por meio de fluxogramas nos quatro documentos analisados. Apesar das diferenças na representação dos vários elementos que compõem o processo de avaliação e desenvolvimento do projeto de segurança contra incêndio, os textos dos referidos documentos enfatizam claramente a necessidade de se cumprir todas as etapas com rigor, mantendo-se uma documentação completa sobre todo o processo.

6.2.1 International Fire Engineering Guidelines (IFEG)

No Australian Building Codes Board (2005, p.1.1-2), define-se, simplificadamente, o processo de engenharia de segurança contra incêndio como aquele composto por 5 etapas, apresentadas na Figura 6.1 a seguir:

Figura 6.1 – Etapas do processo de desenvolvimento do projeto.

Fonte: Australian Building Codes Board (2005, p.1.1-2), tradução nossa.

Este documento enfatiza a importância da etapa inicial no processo de projeto denominado "Fire Engineering Brief (FEB)". Esta etapa compreende uma série de discussões que se inicia com a definição do escopo da análise de segurança contra incêndio com base no desempenho. Seu objetivo é determinar a base em que a análise será conduzida, em comum acordo com todas as pessoas-chave envolvidas no projeto da edificação. No final, gera-se um Relatório onde constam todas as determinações e decisões tomadas para o desenvolvimento do projeto de segurança contra incêndio.

Considerou-se importante compreender o conteúdo do FEB, que é esquematicamente representado na Figura 6.2. Para tanto, a descrição resumida do conteúdo dos temas abordados foi elaborada e é apresentada no Quadro 6.2

Figura 6.2 – Conteúdo do “Fire Engineering Brief (FEB)”.

Fonte: Australian Building Codes Board (2005, pg.1.2-3), tradução nossa.

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
ROSARIA ONO

Etapas	Denominação	Conteúdo
1	Escopo do Projeto	É necessário que todos os envolvidos tenham conhecimento do escopo e das intenções do projeto, tais como: o contexto contratual do projeto, o marco regulatório, o cronograma do projeto, etc.
2	Pessoas-chave	O ideal é ter a colaboração das pessoas com poder de decisão no projeto, incluindo o cliente ou seu representante, o arquiteto projetista, o consultor em regulamentação, os outros consultores-especialistas, corpo de bombeiros, autoridade local, representante da companhia seguradora, ocupantes e o gerente operacional do edifício.
3	Principais características do edifício	É importante identificar as características do edifício para facilitar a tomada de decisões, tais como: tipo de ocupação, localização, dimensões e perfil geométrico, tipo de estrutura/ construção, riscos, medidas de proteção, uso e manutenção, condições climáticas, valor monetário e não-monetário do patrimônio, dentre outros.
4	Perfil dos ocupantes	Características predominantes dos ocupantes são importantes como: distribuição (número, gênero, idade, localização), estado (nível de alerta, de sobriedade e de consciência); atributos físicos (mobilidade, habilidade visual e auditiva); atributos mentais (nível de compreensão, habilidade em tomar decisões, independência, etc.), treinamento de emergência, nível de responsabilidade (pai/filho, professor/estudante, paciente/enfermeiro, cliente/vendedor), familiaridade com o espaço, etc.
5	Objetivos gerais	É necessário definir os objetivos de segurança contra incêndio do projeto, identificando, primeiramente, os objetivos de cada tomador de decisão (que podem ser diferentes). Os objetivos podem ser divididos em três grandes categorias: objetivos das regulamentações de construção, outros objetivos regulatórios e objetivos não-regulatórios.
6	Perigos e Medidas preventivas e de proteção disponíveis	Uma revisão sistemática deve ser conduzida para estabelecer potenciais perigos (normais e especiais) no edifício. Dentre os fatores de perigo estão: a disposição dos espaços (leiaute), as atividades desenvolvidas, as fontes de ignição e as fontes de combustível. As diversas medidas preventivas e de proteção que já existem, outras que deverão ser adotadas para cuidar dos perigos, especificamente, devem ser identificadas. Estas medidas podem ser identificadas por tipo de subsistemas de segurança contra incêndio.
7	Avaliação de propostas de projetos	À medida que o projeto de arquitetura e engenharia é desenvolvido, a equipe de projeto deve incorporar as medidas que objetivam atingir os níveis de segurança contra incêndio aceitáveis. A avaliação de sistemas de segurança contra incêndio deve considerar muitos fatores como estética, custo, praticidade no uso, rapidez de construção e a importância da manutenção. Uma ou mais propostas de projeto devem ser analisadas, no mínimo. O projeto pode incorporar redundâncias para compensar as potenciais falhas de componentes do sistema de segurança contra incêndio.
8	Itens em desacordo e objetivos ou requisitos de desempenho específicos	Os objetivos ou requisitos de desempenho específicos devem ser definidos para verificar se as propostas/ soluções de projeto atendem aos requisitos de desempenho ou às prescrições da regulamentação. Cada um dos itens em desacordo deve ser identificado, quantificado e documentado para comparar os detalhes da proposta de projeto com as exigências da regulamentação.
9	Abordagem e Métodos de análise	Para análise dos itens em desacordo e dos objetivos ou requisitos de desempenho específicos é necessário selecionar a abordagem e os métodos de análise. A abordagem pode ser comparativa ou absoluta, quantitativa ou qualitativa, determinística ou probabilística. Os métodos de análise para a avaliação quantitativa devem ser selecionados dentre os inúmeros existentes e todas as análises devem incorporar estudos de sensibilidade, redundância e incerteza.

Quadro 6.2 – Descrição resumida dos conteúdos das etapas do “Fire Engineering Brief (FEB)”.

Etapas	Denominação	Conteúdo
10	Critérios de aceitação e fatores de segurança para análise	Os critérios de aceitação e os fatores de segurança associados devem ser definidos para a análise dos projetos e a avaliação dos resultados. Os critérios de aceitação devem: a) ser apropriados para os objetivos gerais e específicos, os requisitos de desempenho e os métodos de análise adotados; b) ser de natureza numérica (quantitativa); e c) ser realista.
11	Cenários de incêndio e parâmetros para “fogos de projeto”	A escolha dos cenários de incêndio e do “fogo de projeto” é uma importante fase do projeto. Um cenário de fogo inclui a descrição do incêndio durante as fases de ignição, crescimento, alastramento, decréscimo, extinção num determinado espaço, com as principais características que podem influenciar o fenômeno. A validade dos dados obtidos por análises e as conclusões das avaliações de engenharia de incêndio dependem da validade do “fogo de projeto”.
12	Parâmetros para Grupos de ocupantes do projeto	É importante identificar os grupos de ocupantes mais comuns, de maior influência ou mais vulneráveis e os parâmetros para análise desses grupos, em similiaridade à definição do cenário de incêndio e o “fogo de projeto”.
13	Padrões de construção, “commissioning” ⁴³ , gerenciamento, uso e manutenção	Todas as partes envolvidas devem concordar com os padrões a serem assumidos para o projeto e determinar como estes padrões devem ser: a) incorporados na documentação em elaboração; b) atendidos durante a construção e o “commissioning”; e c) garantidos ao longo da vida do edifício.
14	Relatório do FEB	O relatório deve ser preparado pela equipe do FEB, ao final de suas deliberações e antes do início da análise concreta do projeto, resumindo as discussões, as premissas de projeto e os fatores que influenciaram cada decisão, registrando os parâmetros da análise a ser realizada e apresentando um formato que possibilite sua inclusão no relatório final de avaliação da segurança contra incêndio do projeto.

Quadro 6.3 – Descrição resumida dos conteúdos das etapas do “Fire Engineering Brief (FEB)”.
(conclusão).

A Figura 6.3 apresenta o fluxograma do processo de avaliação e sua descrição é apresentada, resumidamente, no Quadro 6.4.

⁴³ **Commissioning do edifício** é um processo de verificação, em construções novas, de todos os subsistemas (ar-condicionado, hidráulica, elétrica, fogo/ segurança à vida, fachadas, unidades internas (como laboratórios), sistemas de sustentabilidade, cogeração de energia, iluminação, esgoto, controles e segurança patrimonial) para que atinjam os requisitos de projeto do proprietário, conforme instituído por ele e projetado pelos arquitetos e engenheiros. É um processo focado na qualidade, necessário tanto em projetos de edifícios complexos como não complexos. Normalmente, a equipe inicial de “commissioning” e o seu líder se envolvem desde o início do projeto até um ano de ocupação do edifício. Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/New_construction_Building_commissioning (acessado em 17/05/2010, tradução nossa).

Figura 6.3 – Processo de Análise da Tentativa de Projeto.

Fonte: Australian Building Codes Board (2005, p.1.3-3), tradução nossa.

Etapas	Denominação	Conteúdo
1	Tentativa de Projeto	O projeto é analisado de acordo com as determinações do FEB.
2	Não atendimento aos requisitos	É necessário identificar quais os requisitos prescritivos da regulamentação que a solução não atende.
3	Objetivos ou requisitos específicos de desempenho	Determinar os objetivos específicos a serem atendidos em função da não-conformidade gerada na etapa anterior ou, em função dos objetivos determinados na regulamentação com base no desempenho
4	Abordagens e Métodos de análise	As abordagens e métodos de análise devem ser selecionados, considerando a seguinte ordem: 4a – selecionar abordagem comparativa ou absoluta, 4b – selecionar abordagem qualitativa ou quantitativa, 4c – selecionar abordagem determinística ou probabilística e 4d – selecionar os métodos de análise.
5	Realizando a análise	Realizar a análise considerando os subsistemas envolvidos e os resultados de suas avaliações, sua influência nos demais subsistemas, etc. Estudos de sensibilidade e de incerteza também devem ser levados em conta.
6	Apresentação e avaliação dos resultados	Os resultados devem ser apresentados e avaliados, considerando os critérios de aceitação e os fatores de segurança. Em alguns casos, análises adicionais de sensibilidade (incluindo redundâncias) e de incerteza podem ser necessárias.
7	Aceite das Conclusões	Se a conclusão é de que os resultados não atendem aos critérios de aceitação com os fatores de segurança e redundância, a solução proposta é descartada ou modificada e uma nova avaliação deve ser conduzida.
8	Relatório	Alternativamente à etapa 7, se os resultados apontam para uma solução aceitável, os resultados devem ser apresentados num relatório. As informações contidas podem ser utilizadas durante a construção, o uso e manutenção do edifício, nas auditorias e nas alterações de uso ou ampliações.

Quadro 6.4 – Itens do processo de avaliação.

Os métodos que podem ser utilizados para realizar a avaliação são inúmeros e devem ser selecionados de acordo com o tipo de abordagem adotado para a análise do projeto, considerando cada um dos subsistemas.

O documento apresenta dois tipos de abordagem, a determinística e a probabilística, como transcritas a seguir.

a) Abordagem determinística:

“A abordagem determinística de um problema envolve a definição de um cenário e o uso de métodos analíticos que, quando aplicados repetidamente, levam a resultados idênticos. Os programas de modelos de zona e alguns de modelos de campo, assim como programas de modelagem de abandono mais comuns podem se enquadrar nesta categoria...”

A abordagem determinística é a abordagem analítica primária para muitos dos problemas de engenharia de segurança contra incêndio. No entanto, os

conceitos probabilísticos são freqüentemente envolvidos na interpretação e na aplicação de resultados analíticos. A abordagem determinística é, por vezes, combinada com a abordagem probabilística na avaliação de projetos de engenharia de segurança contra incêndio.” (AUSTRALIAN BUILDING CODES BOARD, 2005, pg. 2.3-2, tradução nossa).

b) Abordagem probabilística

“Há um número de metodologias (Magnusson et al⁴⁴, 1995) pelos quais a probabilidade de sistemas de segurança contra incêndio funcionar ou da resposta dos ocupantes ocorrer como previsto em projeto pode ser incorporada a uma análise para estabelecer os níveis de risco associados ao projeto do sistema de segurança contra incêndio.

A abordagem probabilística provê um meio pelo qual todos os níveis de risco com base em parâmetros críticos podem ser estabelecidos. Tipicamente, estes são relacionados à segurança da vida ou à perda do patrimônio. Outros fatores podem ser introduzidos como parâmetros principais, quando desejado.” (AUSTRALIAN BUILDING CODES BOARD, 2005, pg. 2.3-2, tradução nossa).

Ainda para a abordagem probabilística, o mesmo documento faz referência a importantes trabalhos de Beck; Yung (1994) e Watts (1997) sobre o assunto.

Os métodos de avaliação analíticos a serem adotados para avaliação com abordagem determinística devem ser definidos de acordo com o subsistema a ser avaliado e dependem dos fatores que influem no desenvolvimento do incêndio, segundo a Parte 2 (Metodologia) do documento. O Quadro 6.5, a seguir, apresenta, resumidamente, todos os subsistemas considerados, os principais fatores envolvidos e fenômenos/ parâmetros avaliados de forma analítica em cada situação.

⁴⁴ MAGNUSSON, S.E.; FRANTZISH H. ; HARADA, K.. Fire safety design based on calculations – uncertainty Analysis and safety verification, Report 3078. Lund: Department of Fire Safety Engineering, Lund Institute of Technology, Lund University, 1995.

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
ROSARIA ONO

Subsistema	Fatores	Fenômenos / Parâmetros
Início e Desenvolvimento do Incêndio	Carga de incêndio	<ul style="list-style-type: none"> Medição direta ou Levantamento estatístico Características
	Ignição	<ul style="list-style-type: none"> Altura das chamas Temperatura das chamas Radiação das chamas Radiação da camada quente
	Pré-flashover	<ul style="list-style-type: none"> Propagação das chamas Crescimento do fogo Concentração de produtos tóxicos da combustão Produção de fumaça
	Flashover	<ul style="list-style-type: none"> Previsão do flashover da camada quente Correlação para o flashover
	Desenvolvimento Pleno	<ul style="list-style-type: none"> Fogo controlado por ventilação Fogo controlado por combustível Cálculo do gráfico de tempo-temperatura
	Decaimento	<ul style="list-style-type: none"> Tempo para consumo de 80% do combustível (carga de incêndio)
Desenvolvimento e Propagação da fumaça	Desenvolvimento da fumaça no compartimento de origem	<ul style="list-style-type: none"> Taxa de produção da fumaça Altura da camada da fumaça Temperatura da camada superior Movimento da fumaça
	Controle da fumaça	<ul style="list-style-type: none"> Ventilação natural Pressurização Exaustão Diluição Contenção
Propagação de chamas e seu Impacto	Severidade do incêndio	<ul style="list-style-type: none"> Balanco de calor Relações simplificadas Fórmulas de tempo equivalente Modelagem por computador
	Resistência ao fogo	<ul style="list-style-type: none"> Isolação térmica Integridade Adequação estrutural
	Desempenho estrutural	<ul style="list-style-type: none"> Por tipo de material: Aço, concreto, toras de madeira, alvenaria, estrutura leve em madeira ou aço Modelagem por computador
	Propagação do fogo	<ul style="list-style-type: none"> Temperatura e tamanho do fogo Falência de barreiras Propagação para edifícios adjacentes Radiação e fagulhas levadas pelo vento Propagação do fogo em grandes espaços
Detecção, Alarme e Supressão	Detecção e alarme de incêndio	<ul style="list-style-type: none"> Detectores de calor Detectores de fumaça Detectores de gases Detectores de chamas
	Extinção automática	<ul style="list-style-type: none"> Chuveiros automáticos Outros sistemas
Evacuação	Fase da Detecção	<ul style="list-style-type: none"> Fase de pré-movimento (tempo até início do movimento)
	Fase do Movimento	<ul style="list-style-type: none"> Modelos de fluxo hidráulico ou de rede/ malha Estratégias e comportamentos no movimento
Intervenção Externa	Modelo de intervenção	<ul style="list-style-type: none"> Estratégias Aplicação / treinamento
	Controle e extinção	<ul style="list-style-type: none"> Quantidade de recursos necessários para extinção

Quadro 6.5 – Quadro-síntese dos subsistemas e os fenômenos envolvidos.

Este documento apresenta, num único volume, passo-a-passo, o processo de desenvolvimento do projeto de segurança contra incêndio com base em decisões de engenharia, sua avaliação e aprovação, assim como enfatiza, ao final, a importância da manutenção das soluções de projeto durante o uso e ocupação do edifício.

6.2.2 BS 7974:2001

A norma britânica BS 7974 (BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 2001) apresenta o processo de desenvolvimento do projeto de forma simplificada, como ilustrado na Figura 6.4. Porém, existe uma complementação no conteúdo dessas informações na Parte 0 (zero) do documento PD 7974 (BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 2002), onde é possível encontrar detalhes de cada um dos itens abordados.

A diferença estrutural na descrição do processo de desenvolvimento do projeto está na divisão do dito processo em duas grandes etapas, denominadas Revisão Qualitativa do Projeto (*Qualitative Design Review*) seguida da Análise Quantitativa do Projeto (*Quantitative Analysis of Design*). O conteúdo detalhado de todas as etapas da Figura 6.4, encontradas na Parte 0 do PD 7974 (BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 2002), foi resumido em quatro Quadros, do Quadro 6.6 ao Quadro 6.9.

Figura 6.4 – Processo básico de engenharia - BS 7974.
Fonte: British Standards Institution (2002, p.89), tradução nossa.

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
ROSARIA ONO

Objetivos	Procedimentos	Requisitos / Exemplos
Estabelecer parâmetros básicos de projeto. As informações essenciais são coletadas nesta etapa, para possibilitar a avaliação das soluções de projeto na fase de análise quantitativa.	Revisar o projeto arquitetônico do edifício:	<ul style="list-style-type: none"> Estrutura e layout do edifício; Uso e conteúdo do edifício; Acesso do serviço de bombeiros ao edifício; Perfil dos ocupantes do edifício; Sistemas de ventilação; Perigos de incêndio especiais; Limitações legais (por exemplo, edifício tombado); Requisitos do cliente, incluindo planos futuros, etc.
	Estabelecer os objetivos da segurança contra incêndio	<ul style="list-style-type: none"> Segurança à vida (permitir a saída das pessoas com segurança e a ação dos bombeiros sem riscos indevidos, além do não expor pessoas caso haja um colapso estrutural); Controle de perdas (minimizar perdas à estrutura, ao conteúdo, à atividade desenvolvida e à imagem corporativa); Impacto ambiental (limitar os efeitos do incêndio para edifícios vizinhos, a emissão de produtos perigosos no meio ambiente e poluição de rios pela água do combate ao fogo).
	Identificar os perigos (fire hazards) e as possíveis consequências	<ul style="list-style-type: none"> Fontes de ignição; Carga de incêndio; Características dos materiais de construção; Natureza das atividades desenvolvidas no edifício; Qualquer outro fator especial.
	Estabelecer as soluções alternativas de projeto	<ul style="list-style-type: none"> Sistemas de proteção instalados; Análise probabilística de risco / falha; Medidas de redundância.
	Identificar os critérios de aceitação e os métodos de avaliação	<p>Os critérios de aceitação dependem do método de avaliação a ser adotado, podendo ser:</p> <ul style="list-style-type: none"> Comparativa (comparar equivalências de soluções alternativas simples com requisitos específicos de códigos prescritivos); Determinística (tem base em relações físicas, químicas e termodinâmicas derivadas de teorias científicas e correlações empíricas); Probabilística (depende do uso de dados estatísticos relacionados à frequência dos incêndios e da confiabilidade dos sistemas de proteção contra incêndio, combinados à avaliação determinística das consequências em função dos cenários de fogo estabelecidos).
	Estabelecer os cenários de incêndio para análise	<ul style="list-style-type: none"> Fogo de projeto (taxa de desenvolvimento e severidade); Localização do incêndio (pavimento, compartimento e posição dentro do compartimento); Características dos ocupantes: familiaridade com o edifício, estado de alerta, mobilidade, relação com outros ocupantes (social / profissional) e posição no edifício; Número de ocupantes.

Quadro 6.6 – Processo de Revisão de Projeto (Qualitative Design Review – QDR).

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
ROSARIA ONO

Objetivos	Procedimentos	Parâmetros de Avaliação
Realizar uma avaliação quantitativa das soluções de projeto, quando necessário. Esta avaliação pode ser subdividida em várias, correspondendo aos subsistemas propostos. Pode-se adotar procedimentos de cálculo probabilístico ou determinístico, ou a combinação de ambos na análise.	Subsistema 1: Início e desenvolvimento do incêndio no interior do compartimento de origem	<ul style="list-style-type: none"> Taxa de liberação de calor; Taxa de produção de fumaça; Taxa de produção de produtos da combustão; Tamanho e temperatura das chamas; Temperatura no interior do compartimento de origem; Tempo para a inflamação generalizada (flash-over); Área envolvida pelo incêndio.
	Subsistema 2: Propagação da fumaça e de gases tóxicos	<ul style="list-style-type: none"> Propagação da fumaça e de outros produtos da combustão no interior e além do compartimento de origem; Características da fumaça num determinado local, incluindo: fluxo em massa, fluxo em volume, temperatura, velocidade, densidade ótica e concentração de partículas e gases; Métodos de controle da fumaça, incluindo: contenção, visibilidade; diluição, exaustão por ventilação e sistemas de pressão diferencial; Técnicas de modelagem.
	Subsistema 3: Comportamento Estrutural e Propagação de chamas além do compartimento de origem	<ul style="list-style-type: none"> Mecanismos de propagação das chamas (radiação, movimento de gases quentes, propagação de chamas por superfícies combustíveis, fagulhas e materiais fundidos, violação e colapso de barreiras como paredes, piso e portas.) Condições de exposição ao fogo (condições de teste padrão de fogo, fogo de projeto, comportamento estrutural, comportamento dos materiais, elementos simples ou dois ou mais elementos interagindo, etc.) Estrutura completa.
	Subsistema 4: Detecção e acionamento dos sistemas de proteção	<ul style="list-style-type: none"> Detecção do incêndio; Acionamento de dispositivos de controle de incêndio (chuveiros automáticos, ventiladores, eletroímã de portas, etc.); Aviso ao corpo de bombeiros.
	Subsistema 5: Intervenção do Corpo de Bombeiros	<ul style="list-style-type: none"> Tempo de chegada; Tempo para intervenção; Capacidade de combate; Reforço na capacitação de combate ao fogo; Tempo para controle do incêndio.
	Subsistema 6: Evacuação	<ul style="list-style-type: none"> Parâmetros físicos de escape (tempo de percurso até uma saída e fluxo); Parâmetros psicológicos de escape (tempo de pré-movimento e tipo de sistema de aviso/ alarme); Tempo de escape; Limites de tolerância humana (visibilidade, produtos da combustão irritantes e tóxicos), calor radiante e temperatura do ar).

Quadro 6.7 – Processo de Análise Quantitativa de Projeto (Quantitative Design Analysis).

Objetivos	Procedimentos	Opções ao Processo
Comparar os resultados obtidos na avaliação com os critérios estabelecidos no QDR.	<p>Se nenhuma das soluções propostas satisfaz os critérios de aceitação estabelecidos, o processo de quantificação deve ser repetido a fim de estabelecer opções ao processo.</p> <p>Quando a solução for satisfatória, as estratégias necessárias para atingi-la e o processo que nela resulta devem ser totalmente documentados.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Desenvolver outras soluções de projeto; Adotar outra abordagem de projeto (por exemplo, adotar as técnicas determinísticas ao invés de uma avaliação comparativa ou procedimentos probabilísticos ao invés de determinísticos); Reavaliar os objetivos do projeto (por exemplo, se o custo das medidas de proteção contra incêndio para a propriedade supera os potenciais benefícios).

Quadro 6.8 – Processo de Avaliação “versus” Critérios.

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
ROSARIA ONO

Objetivos	Procedimentos	Estrutura básica do relatório
Elaborar documentação para submissão às autoridades competentes ou à avaliação de uma terceira parte (neutra). O documento deve ser claro, conciso e completo.	Os fundamentos para o projeto, assim como os procedimentos de cálculo utilizados e qualquer premissa assumida durante o desenvolvimento do projeto deve ser claramente documentado.	<ul style="list-style-type: none"> • Objetivos do estudo; • Descrição do edifício; • Resultados da Revisão Qualitativa do Projeto (QDR); • Análise Quantitativa; • Comparação com os critérios de aceitação; • A estratégia de segurança contra incêndio adotada; • Os requisitos de gerenciamento; • Conclusões; • Referências • Qualificação e experiência do engenheiro responsável.

Quadro 6.9 – Processo de Elaboração do Relatório.

O conjunto de documentos disponíveis, todos sob a mesma numeração (norma BS 7974 e os documentos complementares PD 7974, com todas as suas 7 partes), fornece subsídios concretos para o desenvolvimento do projeto de segurança contra incêndio com base em decisões de engenharia. A BS 7974 (British Standards Institution, 2001) apresenta, como foi visto, a estrutura da aplicação dos princípios de engenharia de segurança contra incêndio para o projeto de edificações e a série PD 7974 (British Standards Institution, 2002), orientações e informações detalhadas dos aspectos específicos envolvidos.

6.2.3 ISO 23932:2009

A norma ISO 23932:2009 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2009) representa o processo do projeto de segurança contra incêndio por meio da Figura 6.5, onde já identifica as etapas do processo considerando as fases de projeto, uso e manutenção do edifício e também inclui os itens e parâmetros necessários para avaliação (fogo de projeto, cenários de fogo e métodos de avaliação).

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
ROSARIA ONO

Figura 6.5 – Fluxograma ilustrando do processo de engenharia de segurança contra incêndio – Projeto, implementação e manutenção.

Fonte: International Organization for Standardization (2009, p.4), tradução nossa.

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
ROSARIA ONO

As etapas do processo são apresentadas, resumidamente, nos Quadros a seguir, com base no texto da referida norma.

Etapas	Processo	Objetivos	Procedimentos
1	Definição do Escopo do Projeto	Obter informações sobre o projeto preliminar para iniciar o projeto de segurança contra incêndio num estágio inicial do projeto do ambiente construído.	Obter informações sobre o conceito de projeto arquitetônico, estrutural, de ventilação, de hidráulica e de elétrica, a fim de integrar o projeto às demais especialidades.
			Obter informações sobre os objetivos e as funções de cada projeto, dimensões dos espaços e de suas aberturas e descrição dos materiais de acabamento e mobiliário, instalação de equipamentos e depósito e manuseio de produtos combustíveis.
			Definir o contexto organizacional e contratual das atividades de projeto, incluindo a extensão da aplicação das medidas de engenharia de segurança contra incêndio.
2	Identificação dos objetivos, dos requisitos funcionais e dos critérios de desempenho	Definir objetivos da segurança contra incêndio	Em geral, os objetivos gerais já são estabelecidos nos códigos ou regulamentações com base no desempenho, no entanto, objetivos específicos podem ser adicionados, em função do interesse das partes envolvidas. Dentre os objetivos gerais, se encontram: <ul style="list-style-type: none"> • Segurança à vida; • Proteção da propriedade; • Continuidade das atividades; • Proteção do meio ambiente; • Preservação dos bens artístico-culturais.
		Definir os requisitos funcionais	Cada objetivo pode estar associado a um ou mais requisitos funcionais que satisfaçam às condições do projeto de segurança contra incêndio. Um requisito funcional é uma declaração da condição necessária para atingir um objetivo de segurança contra incêndio. A especificação das funções que possuem requisitos forma o primeiro nível de detalhe da estratégia de projeto de segurança contra incêndio.
		Estabelecer os critérios de desempenho	Os critérios são expressos de forma quantitativa (determinística ou probabilística), a fim de verificar se um requisito funcional satisfaz ou não o projeto de segurança contra incêndio, devendo considerar também o nível de confiabilidade e a efetividade dos resultados.
3	Identificação dos Perigos	Identificar os perigos internos e externos que podem ter impacto no ambiente construído.	Perigos internos: produtos e materiais de construção, equipamento para uso comum e segurança contra incêndio, tipo de ocupação e uso associado do espaço, tipos de atividades/ usos, etc.
			Perigos externos: atividades na vizinhança, perigos naturais / ambientais, etc .
4	Plano de Projeto	Elaborar estratégias de segurança contra incêndio, considerando um conjunto de elementos do projeto (os subsistemas).	Este plano deve ser devidamente descrito e documentado, apresentando informações suficientes para a avaliação do projeto a fim de verificar o atendimento aos objetivos da segurança contra incêndio, quando analisado frente aos cenários de incêndio.
			As funções e os elementos de projeto a serem considerados são apresentados com detalhes, em cada um dos subsistemas.

Quadro 6.10 – Etapas do processo de projeto da norma ISO 23932:2009.

**O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
ROSARIA ONO**

Etapas	Processo	Objetivos	Procedimentos
5	Cenários de fogo e de comportamento	Definir os cenários típicos em função dos perigos devidamente identificados.	De acordo com os perigos identificados, dois tipos de cenários podem ser elaborados: <ul style="list-style-type: none"> ○ Cenário do incêndio (identificação dos potenciais cenários e seleção dos cenários por meio de avaliação de risco qualitativo ou quantitativo). ○ Cenário do comportamento (seleção dos cenários comportamentais considerando: localização dos ocupantes, características do edifício e dos ocupantes (número, distribuição, familiaridade, habilidade motora, etc.) e sistema de gerenciamento da segurança contra incêndio).
6	Seleção dos métodos de engenharia e relatório preliminar	Selecionar os métodos de engenharia para avaliar as propostas de projeto frente aos objetivos estabelecidos.	Os métodos de engenharia devem apresentar resultados com níveis aceitáveis de precisão e eficiência na verificação ao atendimento dos critérios de desempenho, para um ou mais cenários de fogo, podendo ser métodos determinísticos ou probabilísticos. Exige-se uma cuidadosa validação e verificação dos métodos adotados, assim como dos modelos utilizados. Dados de ensaios, experimentos e levantamentos são utilizados em vários métodos de engenharia para determinar probabilidades em métodos de avaliação de riscos de incêndio (probabilísticos). É também exigida a avaliação da adequação dos dados ao projeto em consideração. Análises dos resultados de testes de cenários de fogo em escala (próxima à real) são adotadas quando métodos de cálculo estão indisponíveis ou não podem ser validados devido à complexidade do fenômeno envolvido. Tais testes são limitados a configurações simples de ambientes construídos ou partes deste. Julgamento de engenharia pode ser uma alternativa a ser utilizada quando métodos de cálculo ou dados não estão disponíveis (ou não são adequados) e testes em escala são economicamente inviáveis. Neste caso, algumas decisões devem ser tomadas quanto ao uso de dados específicos ou quanto aos objetivos e critérios a serem adotados e especialistas devem ser envolvidos para a tomada de decisão.
		Elaboração do Relatório Preliminar	Incluir a seleção dos cenários de fogo e dos métodos utilizados para avaliação dos resultados no relatório qualitativo preliminar, que devem conter, também, o escopo do projeto, os objetivos, os requisitos funcionais e os critérios de desempenho selecionados.
7	Avaliação de projetos	Avaliar as alternativas de projeto por meio de ferramentas de engenharia para determinar se os critérios quantitativos de desempenho estão sendo atendidos	Esta avaliação quantifica o desempenho do projeto proposto. Se o critério é expresso de forma determinística, a avaliação pode envolver cálculos específicos para cada cenário de fogo e, se for probabilística, os cálculos podem ser aplicados a uma faixa de cenários de fogo. É necessário determinar as consequências derivadas de cada cenário, considerando o desempenho dos sistemas de proteção contra incêndio e as interações entre estes sistemas e o incêndio, além de avaliar a frequência dos eventos e as fontes de fatores de segurança e de incerteza. Comparar os resultados obtidos com os critérios de desempenho e, caso a situação seja insatisfatória, ponderar sobre o próximo passo a ser tomado: a) modificação do projeto; b) alterar o objetivo ou o critério de desempenho, caso o requisito seja voluntário (não compulsório), mediante concordância de todas as partes envolvidas; c) em casos extremos, rever o escopo do projeto e todo o processo consequente.

Quadro 6.10 – Etapas do processo de projeto da norma ISO 23932:2009 (continuação).

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
ROSARIA ONO

Etapa	Processo	Objetivos	Procedimentos
8	Elaboração do Relatório Final	Elaborar três documentos para atender todas as partes envolvidas, a fim de obter aprovação das mesmas, assim como das autoridades regulamentadoras.	Os três documentos que devem ser elaborados são:
			<ul style="list-style-type: none"> Relatório de avaliação da segurança contra incêndio (escopo de projeto; conteúdo do relatório preliminar qualitativo ou referência ao mesmo; apresentação da estratégia da segurança contra incêndio, apresentação dos métodos de engenharia e dos dados utilizados para a avaliação e justificativa; todas as etapas da avaliação das soluções de projeto para os cenários de fogo e seus respectivos resultados; a comparação dos resultados com os critérios de desempenho e a conclusões. Relatório das condições de uso do ambiente construído (descrição dos ambientes e das atividades a serem desenvolvidos, assim como a lista de premissas assumidas para a avaliação, como limite máximo e localização tanto da carga de incêndio como da população e os sistemas de proteção ativos e passivos, as alternativas de fuga e a inspeção e manutenção). Relatório de procedimentos de inspeção e manutenção (fornece os dados iniciais de projeto como carga de incêndio, população, uso, etc. (para monitorar alteração/ evolução das atividades, aumento da quantidade de material combustível, etc.) e dos sistemas de proteção contra incêndio que requerem inspeções e manutenção periódica e sua periodicidade.)
			Revisão global do projeto: Todas as partes envolvidas /interessadas devem receber os três relatórios e assegurar que todos os requisitos foram considerados e que o projeto final atende aos objetivos da segurança contra incêndio.
			Aprovação das autoridades regulamentadoras: Quando os objetivos da segurança contra incêndio envolvem o atendimento à regulamentação, as autoridades que tem jurisdição sob o edifício devem ser consultadas. O relatório de avaliação de segurança contra incêndio deve ser apresentado e, quando necessário, os dois outros relatórios. As autoridades podem apresentar seu parecer ou solicitar o parecer a uma terceira parte. Esta terceira parte pode resultar em avaliação adicional e/ou modificação do projeto final. Neste caso, o processo deve ser repetido para as partes alteradas.
9	Implementação do projeto	Garantir a implementação efetiva do projeto	Identificação e tratamento de alterações ao projeto: Um relatório de verificação da construção / fabricação do sistema de segurança contra incêndio deve ser elaborado e, qualquer desvio ao projeto original deve ser documentado, pois, dependendo de sua influência na segurança contra incêndio, outra avaliação / aprovação das partes envolvidas pode ser necessária.
			Validação da conformidade do ambiente construído: Deve haver confirmação ou evidência, e por vezes, certificação, de que os produtos utilizados na construção ou os componentes fabricados estão de acordo com o projeto. Em alguns casos, pode ser necessária a realização de testes “in loco”, como de sistemas de proteção ativa, para confirmação de seu funcionamento. Os resultados dos testes devem ser devidamente registrados.
			Documentação atualizada do projeto: No caso de alterações ao projeto original, é necessário atualizar os três relatórios finais mencionados em “Elaboração do Relatório Final”.

Quadro 6.10 – Etapas do processo de projeto da norma ISO 23932:2009 (continuação).

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
ROSARIA ONO

Etapas	Processos	Objetivos	Procedimentos
10	Gerenciamento da segurança contra incêndio	Garantir o exercício do gerenciamento da segurança contra incêndio durante o ciclo de vida do edifício	Elaboração de procedimentos para prevenção e controle do incêndio, para orientação da evacuação da população, assim como para a manutenção dos sistemas de proteção contra incêndio.
			Elaboração de um manual de segurança contra incêndio ou de um sistema de informação de segurança contra incêndio, para manter o registro de manutenção dos sistemas e um check-list de procedimentos a serem tomados em caso de emergência. Procedimentos para inspeções internas também deve ser elaborados.
			Aproximação com o corpo de bombeiros ao longo da vida útil do edifício, incluindo a elaboração de um plano pré-incêndio para que os bombeiros estejam familiarizados com o edifício, a localização dos riscos e com a operação dos sistemas de proteção contra incêndio instalados.
11	Realização de inspeções independentes	Garantir o exercício da inspeção independente durante o ciclo de vida do edifício	A inspeção independente dos sistemas de proteção contra incêndio e do gerenciamento realizados periodicamente (pelo menos uma vez ao ano) são mais eficazes do que auditorias e inspeções realizadas sem regularidade. Normalmente, em situações onde não se conta com a inspeção independente, requer-se medidas adicionais de proteção contra incêndio para garantir um nível aceitável de segurança. Quando alterações significativas são identificadas por inspeção independente, no uso, na ocupação ou na carga de incêndio, ou na reforma ou modificação do ambiente construído, o processo de projeto da segurança contra incêndio deve ser repetido ou revisto

Quadro 6.10 – Etapas do processo de projeto da norma ISO 23932:2009 (conclusão).

A norma ISO 23932:2009 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (2009) fornece os princípios gerais para a aplicação da metodologia com base no desempenho para avaliação da segurança contra incêndio de edificações, provendo os principais elementos necessários à prática e à avaliação das diferentes etapas do processo, porém, não detalha a orientação técnica para o desenvolvimento do projeto. Assim, a complementação é realizada pelo documento ISO/TR 13387:1999 – *Fire safety engineering*, em suas 8 partes, com destaque para a “Parte 1: Aplicação dos conceitos de desempenho ao fogo para objetivos de projeto” e outros documentos complementares como:

- ISO/TS⁴⁵ 16732: 2005, Fire safety engineering – Guidance on fire risk assessment;
- ISO/TS 16733: 2006, Fire safety engineering – Selection of design fire scenarios and design fires;
- ISO 16730: 2008, Fire safety engineering – Assessment, verification and validation of calculation methods.

É possível notar que muitos dos documentos relacionados ao assunto “Engenharia de segurança contra incêndio (fire safety engineering)”, tanto no BSI como na ISO apresentam caráter transitório ou não definitivo, pois o assunto ainda é novo, portanto, não consolidado e estas entidades e seus parceiros vêem a necessidade de amadurecimento do assunto, por meio da divulgação de documentos de caráter não normativo.

6.2.4 NFPA 101- Life Safety Code / Chapter 5 – Performance-Based Option

Este documento (COTE; HARRINGTON, 2009), que é essencialmente de caráter prescritivo e objetiva determinar parâmetros para o projeto de segurança contra incêndio visando à segurança à vida dos ocupantes do ambiente construído, introduz, no seu capítulo 5, condições para o projeto com base no desempenho e apresenta o fluxograma do processo desse processo, à semelhança dos documentos anteriores, mostrado aqui na Figura 6.6.

No Quadro 6.4 são apresentados, de forma resumida, os comentários sobre os conteúdos dos itens abordados no fluxograma (Figura 6.6).

⁴⁵ Documento denominado Especificação Técnica (TS – Technical Specification) com possibilidade futura para publicação como norma internacional, mas que no presente momento não apresenta consenso para tanto, pois o assunto ainda está em desenvolvimento técnico ou há outros motivos inibidores.

**O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS**
ROSARIA ONO

Figura 6.6 – Processo de projeto com base no desempenho – NFPA 101.
Fonte: Cote; Harrington (2009, p.67), tradução nossa.

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
ROSARIA ONO

Etapas	Requisito	Objetivo /Conteúdo
1	Metas de segurança contra incêndio	Prover aos ocupantes um ambiente razoavelmente seguro do incêndio por meio da proteção dos ocupantes que não estejam presentes no local da origem do incêndio e garantir a sobrevivência dos ocupantes no local de origem do incêndio (item 4.1.1 do Código).
2	Objetivos de segurança contra incêndio	<ul style="list-style-type: none"> a) O edifício deve ser projetado, construído e mantido de forma a proteger seus ocupantes que não estejam presentes no local de origem de incêndio e prover tempo necessário para que os mesmos abandonem, se realoquem ou se protejam permanecendo no local; b) A integridade estrutural do edifício deve ser mantida pelo tempo necessário para o abandono, a realocação ou a proteção no local dos ocupantes que não estejam presentes no local de origem do incêndio; c) Os sistemas utilizados para atingir as metas de segurança contra incêndio devem ser efetivos na mitigação do perigo ou na condição que forem utilizados, devem ser confiáveis, devem ser mantidos para que possam operar com o desempenho de projeto e devem permanecer operacionais. (item 4.2. do Código)
3	Critérios de segurança contra incêndio	Qualquer ocupante que não esteja presente no local da origem / ignição do incêndio não deve ser exposto a condições não sustentáveis tanto instantâneas como cumulativas (item 5.2.2 do Código).
4	Característica dos ocupantes	As características dos ocupantes devem representar o seu perfil normal, a menos que as especificações de projeto levem a uma alteração do perfil, tais como treinamento, abandono assistido, tipos específicos de alarme, etc. (item 5.4.5 do Código)
5	Características do edifício	As características do edifício e de seu conteúdo, equipamento ou operação que afetam o comportamento dos ocupantes ou a taxa de desenvolvimento do perigo de incêndio devem ser identificadas explicitamente (item 5.4.3 do Código).
6	Cenários de Incêndio	Os cenários de projeto selecionados devem incluir aqueles especificados no Código e seus parâmetros devem ser aprovados pela autoridade local (item 5.5 do Código).
7	Premissas e especificações de projeto	Cada premissa e especificação de projeto devem ser transformadas em dados de entrada apropriados para o método ou modelo a ser adotado (Item 5.4 do Código); se omitidas ou modificadas na fase de entrada de dados, estas devem ser identificadas e uma análise de sensibilidade deve avaliar as consequências desta omissão ou modificação.
8	Métodos de verificação	Os métodos de avaliação devem demonstrar que o projeto proposto atingirá as metas e os objetivos, com base nos critérios de desempenho, à luz das margens de segurança e da análise de incertezas, para cada cenário, dadas as premissas específicas assumidas (Item 5.6 do Código).
9	Fator de segurança	Os fatores de segurança previamente aprovados devem ser incluídos nos métodos de projeto e nos cálculos a fim de refletir a incerteza das premissas específicas assumidas, dos dados e outros fatores associados ao projeto com base no desempenho (item 5.7 do Código).
10	Relatório / Documentação para Aprovação	Todos os aspectos do projeto devem ser documentados para dar apoio à validade, exatidão, relevância e precisão dos métodos propostos (item 5.8 do Código).
11	Modificação do projeto	<p>Documentação deve ser produzida para aqueles envolvidos no gerenciamento do edifício, alertando que:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) A aprovação do projeto do edifício com base no desempenho considera critérios específicos de projeto e premissas específicas para cada caso.; b) Há necessidade de reavaliação e reaprovação do projeto/ edifício em caso de reforma, alteração, mudança de uso, ampliação ou alteração das premissas de projeto. (item 5.8.14 do Código)

Quadro 6.11 – Etapas do processo de projeto - NFPA 101.

Uma premissa geral importante do Código a destacar é: Os métodos de proteção têm como base o perigo associado ao incêndio e outros eventos que tem impacto similar num edifício e no seu uso. Os métodos de proteção contra incêndio assumem a existência de uma única fonte inicial de incêndio (não assumem múltiplas fontes) (item 4.3 do Código)

A principal diferença de conteúdo do processo descrito no Capítulo 5 deste Código, em relação aos demais documentos analisados anteriormente, é a falta da discussão conceitual do processo de desenvolvimento do projeto. Além disso, este Capítulo não apresenta a segurança contra incêndio estruturada em subsistemas.

A opção com base no desempenho deste Código estabelece os níveis aceitáveis de risco aos ocupantes dos edifícios por meio de metas (goals), objetivos e critérios de desempenho, porém não descreve como atingi-los. Para o desenvolvimento de soluções, assim como a avaliação da efetividade das mesmas, o Código recomenda consultar o *SFPE Engineering Guide to Performance-Based Fire Protection Analysis and Design of Buildings*, da Society of Fire Protection Engineers⁴⁶ (2000 apud COTÉ; HARRINGTON, 2009, p.66) e inclui também como referências úteis, o que o texto original denomina “*Australian Fire Engineering Guidelines*” e o “*British Standard Firesafety Engineering in Buildings*”. Estes dois últimos correspondem, respectivamente, à “*International Fire Engineering Guidelines*” (AUSTRALIAN BUILDING CODES BOARD, 2005) e à “*BS 7974 - Application of fire safety engineering principles to the design of buildings – Code of practice*” (BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 2001).

Neste capítulo do Código da NFPA, também há referências a outros documentos relacionados, tais como, por exemplo:

⁴⁶ SOCIETY OF FIRE PROTECTION ENGINEERS. **SFPE Engineering Guide to Performance-Based Fire Protection Analysis and Design of Buildings**. Bethesda: SFPE, 2000.

- SFPE Guidelines for Peer Review in the Fire Protection Design Process, do Society of Fire Protection Engineers⁴⁷ (2002 apud COTÉ; HARRINGTON, 2009, p.66);
- SFPE Enforcer's Guide to Performance-Based Design Review in the Fire Protection Design Process, do Society of Fire Protection Engineers⁴⁸ (2004 apud COTÉ; HARRINGTON, 2009, p.67);
- NFPA 551, Guide for the Evaluation of Fire Risk Assessments, do National Fire Protection Association⁴⁹ (2007 apud COTÉ; HARRINGTON, 2009, p.68);
- ASTM E 1591, Standard Guide for Obtaining Data for Deterministic Fire Models, do American Society for Testing Materials⁵⁰ (2007 apud COTÉ; HARRINGTON, 2009, p.96).

Assim, é possível notar que o Capítulo 5 do “NFPA 101- Life Safety Code” abre a opção de adoção do código com base no desempenho, porém, o documento somente introduz o assunto e provê informações orientativas para o desenvolvimento do processo de projeto, inclusive apresentando vários documentos complementares nacionais, desenvolvidos por várias entidades norte-americanas, algumas das quais acima citadas.

6.3 O Subsistema de Saídas de Emergência

O subsistema aqui intitulado “Saídas de emergência” possui denominação distinta nos três documentos analisados, porém o foco deste subsistema é comum a todos e se refere à segurança contra incêndio dos ocupantes do edifício.

⁴⁷ SOCIETY OF FIRE PROTECTION ENGINEERS. **SFPE Guidelines for Peer Review in the Fire Protection Design Process**. Bethesda: SFPE, 2002

⁴⁸ SOCIETY OF FIRE PROTECTION ENGINEERS. **SFPE Enforcer's guide to performance-based design review**. Bethesda: SFPE and ICC, 2004.

⁴⁹ NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. **Guide for the Evaluation of Fire Risk Assessments** (NFPA 551). Quincy: NFPA, 2007.

⁵⁰ AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Guide for Obtaining Data for Deterministic Fire Models Copyright** (ASTM E1591). West Conshohocken: ASTM International, 2007.

O desenvolvimento do processo de projeto deste subsistema depende de informações trazidas dos demais subsistemas, em função das premissas de progressão do incêndio e do perigo que este pode trazer aos ocupantes do edifício.

A seguir, apresenta-se um resumo do conteúdo focado em cada um dos documentos analisados.

6.3.1 International Fire Engineering Guidelines- Edition 2005 – Occupant Evacuation and Control (Sub-system E);

Nesta publicação (IFEG), o Capítulo 1.8 – “Evacuação e Controle dos Ocupantes (Subsistema E)” trata das saídas de emergência, fornecendo orientação para a quantificação dos tempos, componentes e fases do processo de abandono. Especificamente, o “tempo requerido para evacuação segura (TRES)”, conhecido internacionalmente como “RSET (Required Safe Evacuation Time)” é quantificado para que possa ser comparado com o “tempo disponível para evacuação segura (TDES)”, “ASET (Available Safe Evacuation Time)”. Este capítulo também apresenta discussões a respeito das relações entre este subsistema e os demais.

É importante destacar que apesar de existirem várias estratégias alternativas de gerenciamento e de evacuação de edifícios (áreas de refúgio, proteção no local (sem deslocamento), uso de elevadores para abandono de pessoas com deficiência, etc.), muitas delas ainda em desenvolvimento, o documento australiano assume, como premissa, a situação onde deve ser garantida a evacuação dos ocupantes para um local seguro (AUSTRALIAN BUILDING CODES BOARD, 2005, p. 2.8-2).

O subsistema “E” tem como finalidade analisar os eventos que podem influenciar na determinação do tempo requerido para a evacuação segura do edifício (TRES) desde o início do incêndio.

A Figura 6.7 apresenta os componentes e a linha de tempo deste processo de abandono que inclui:

- Início do incêndio (t_0): é o instante para determinação do TRES;

- Ocorrência de uma evidência (t_c): é o tempo para que uma evidência do incêndio surja (alarme / aviso);
- Reconhecimento da evidência (t_r): é o tempo em que os ocupantes reconhecem / confirmam a existência de um incêndio;
- Início do movimento (t_d): é o tempo em que os ocupantes iniciam o movimento de evacuação;
- Fim do movimento (t_m): é o tempo em que os ocupantes alcançam uma área segura.

Todos estes tempos são separados por períodos (período de evidência, período de resposta, período de atraso e período de movimento) e um ou mais períodos compõem as fases do processo de evacuação, conforme pode ser visto na Figura 6.7.

Figura 6.7 – Linha de tempo da detecção do incêndio e da evacuação.

Fonte: Australian Building Codes Board (2005, p.1.8-3), tradução nossa.

A Figura 6.8 ilustra como o processo de evacuação pode ser analisado, considerando a entrada (esquerda) e saída de dados (direita).

Figura 6.8 – Fluxograma da análise de evacuação.
Fonte: Australian Building Codes Board (2005, p.1.8-5), tradução nossa.

6.3.1.1 Dados de Saída (outputs)

O documento apresenta os seguintes parâmetros como dados de saída:

- *Período de evidências (P_e): Este é o período que se inicia com a ignição do fogo e termina com a ocorrência de uma evidência;*
- *Período de resposta (P_r): Os ocupantes podem associar ou não a evidência disponível imediatamente a uma emergência. O FEB deve determinar critérios pelos quais a análise irá determinar se os ocupantes reconhecem as várias evidências. É o intervalo de tempo entre a ocorrência da evidência e seu reconhecimento;*
- *Período de atraso (P_a): Os ocupantes podem realizar uma série de ações que causam atraso no início do movimento de abandono, após reconhecimento das evidências;*
- *Período de movimento (P_m): Intervalo de tempo entre o início e o fim do movimento para um local seguro;*
- *Tempo Requerido para Evacuação Segura (TRES): Soma dos períodos de evidência, resposta, atraso e movimento. Este tempo é utilizado na compilação dos resultados e elaboração das conclusões. (AUSTRALIAN BUILDING CODES BOARD, 2005, pg.1.8-4, tradução nossa).*

6.3.1.2 Dados de Entrada (inputs)

Os dados de entrada para o subsistema “E” são definidos pelos métodos de análise a serem utilizados e podem incluir:

- *Características do edifício - Os seguintes parâmetros são normalmente relevantes e devem estar disponíveis no FEB*
 - *Tipo e uso do edifício;*
 - *Dimensões;*
 - *Geometria dos compartimentos;*
 - *Número de saídas;*
 - *Localização das saídas;*
 - *Distribuição dos espaços e leiaute.*

- *Plano de Abandono - Os dispositivos de qualquer plano de abandono para o edifício necessitam ser identificados, incluindo:*
 - *Se a evacuação será controlada ou não controlada;*
 - *Para evacuação controlada, o tipo de evacuação (total, em zonas ou fases).*

Apesar a assistência do corpo de bombeiros poder ser incluída no plano de abandono, tal assistência pode não ser utilizada em algumas das análises.

- *Grupos de ocupantes de projeto e suas características – Os grupos de ocupantes de projeto e suas características a serem utilizadas na análise devem ter sido determinados no FEB. Como um número de grupos pode ser analisado separadamente ou utilizado por componentes diferentes do TRES, é necessário definir as características relevantes de cada grupo.*
- *Tempo para ocorrência das evidências – As evidências podem ser:*
 - *Atuação de um alarme automático (visual ou auditivo), obtido do subsistema D;*
 - *Evidências relativas ao fogo (auditiva, olfativa, visual ou tátil), com base nas informações dos subsistemas A e B;*
 - *Alertas (na forma de ações ou palavras) por outras pessoas, com base nas informações do FEB ou do próprio subsistema. (AUSTRALIAN BUILDING CODES BOARD, 2005, pg.1.8-6, tradução nossa).*

6.3.1.3 Avaliação

A Figura 6.8 apresenta no seu eixo vertical central, as etapas envolvidas na análise do processo de abandono, e a explanação sobre cada etapa é apresentada, a seguir.

Etapas 1 – Escolher o grupo de ocupantes. O grupo de ocupantes reconhecido como o mais crítico é o normalmente selecionado para a análise, porém pode ser também adequado realizar a análise várias vezes com diferentes grupos, ou utilizar diferentes grupos para as várias etapas da análise.

Etapa 2 – Ocorrência de evidência. Determinar uma evidência e quantificar o período de evidência. O fluxograma da Figura 6.9 apresenta as etapas envolvidas. Na maioria dos casos, “alarmes automáticos” é a escolha preferida, pois podem ser acionados de diferentes formas, como por detectores de fumaça, calor, ultravioleta, infravermelho, etc. As evidências do fogo são geralmente detectadas no compartimento de origem do incêndio. Porém, dependendo da propagação da fumaça e das chamas, podem ser detectadas em outros compartimentos. As evidências podem ser auditivas, olfativas, visuais ou táteis. Em alguns casos, pessoas que ouviram ou observaram as evidências podem alertar outras pessoas. O período em que isso ocorre é denominada Período de evidência (P_e).

Figura 6.9 – Fluxograma para quantificação do período de evidência.
 Fonte: Australian Building Codes Board (2005,p.1.8-8), tradução nossa.

Etapa 3 – Reconhecimento da Evidência. Determinar o reconhecimento da evidência e quantificar o período de resposta. O fluxograma da Figura 6.10 apresenta as etapas envolvidas. O reconhecimento da evidência pode ser definido como o processo dos ocupantes receberem evidências, definirem a situação e as identificarem como indicação de uma emergência relativa a incêndio. O período de tempo em que isso ocorre é denominado Período de resposta (P_r).

Figura 6.10 – Fluxograma para quantificação o período de resposta.

Fonte: Australian Building Codes Board (2005, p.1.8-9), tradução nossa.

Etapa 4 – Início do Movimento. Determinar o tempo de início do movimento e quantificar o Período de atraso (P_a). As etapas envolvidas podem ser seguidas na Figura 6.10, pois o processo se repete, com a substituição do Período de resposta (P_r) pelo Período de atraso (P_a). Após o reconhecimento da evidência, há normalmente um período de tempo antes de iniciar o movimento em direção ao local seguro. Durante

este período, os ocupantes podem realizar uma série de ações que podem variar de acordo com o grupo de ocupantes considerado na análise.

Etapa 5 – Término do Movimento. Determinar o tempo para fim do movimento e quantificar o Período de movimento (Pm). As etapas envolvidas podem ser seguidas na Figura 6.10, pois o processo se repete, com a substituição do Período de resposta (Pr) pelo Período de movimento (Pm).

Etapa 6 – Atingido o fim do tempo. Determinar se o tempo final foi atingido. Isto ocorre quando: a) a análise foi realizada para todos os grupos de ocupantes determinados no FEB; b) todos os ocupantes alcançaram um local seguro; c) todos os compartimentos relevantes foram analisados; d) o estágio do incêndio de projeto acordado no processo FEB foi atingido; e) no julgamento de engenharia pelo profissional habilitado, análises suficientes foram realizadas e justificam a proposta de projeto sob consideração. Calcular, então, o TRES, somando todos os períodos envolvidos. Se o fim do tempo não foi atingido, continuar o processo de análise.

Etapa 7 – Término. A análise do subsistema E é finalizado.

O documento também enfatiza a possibilidade de reduzir o TRES como meio de aprimoramento do desempenho do sistema de segurança contra incêndio de um edifício, variando alguns fatores que influenciam nos períodos de tempo envolvidos. Dentre estes fatores podem ser citados os seguintes:

- Período de resposta:
 - Evidências e informações adicionais;
 - Evidências menos ambíguas;
 - Mais pessoal treinado.
- Período de atraso:
 - Programas de treinamento;
 - Mais informações relativas à emergência;

- Diretivas adicionais e mais pessoal treinado.
- Período de movimento:
 - Sinalização adicional e aprimorada;
 - Diretivas adicionais e mais pessoal treinado;
 - Aprimoramento da localização das rotas de fuga e de suas dimensões;
 - Aprimoramento do projeto de rotas de fuga;
 - Iluminação das rotas de fuga;
 - Integração de contrafluxos.

6.3.1.4 Métodos de engenharia

O capítulo 2.8 do documento em análise discute os métodos que podem ser utilizados para realizar a avaliação do subsistema E, sem vetar a adoção de outros métodos pelo especialista.

6.3.1.4.1 Fase de Pré-movimento:

Existe apenas um número limitado de “semi-métodos” não validados disponíveis para o cálculo do tempo de pré-movimento e seus componentes. O Guia não apresenta nenhum método em específico, porém recomenda consultar estudos publicados em periódicos científicos e livros, apresentando uma grande lista de bibliografia a consultar.

6.3.1.4.2 Fase de Movimento:

Existem várias ferramentas (modelos e métodos) para o cálculo do tempo de movimento. As técnicas mais comuns utilizam princípios hidráulicos (fluxo) que fornecem o tempo de movimento de toda a população em condições ideais, conforme já apresentado no capítulo 4. O tempo obtido desta forma pode ser menor que o tempo real, pois não leva em consideração o comportamento dos ocupantes.

O Guia ressalta que se utilizados com competência e com dados de entrada confiáveis, o tempo de movimento calculado pela maioria dos modelos de fluxo podem ser utilizados sem majorar excessivamente o fator de segurança.

As seguintes recomendações são apresentadas para a avaliação e seleção de modelos ou métodos, assim como dos dados de entrada:

- O modelo ou método a ser utilizado deve ser suficientemente sofisticado para o tipo de ocupação a ser avaliado. Um método ou modelo simples provavelmente falhará na identificação de problemas (gargalos e grandes filas) na análise de leiautes complexos e grande população;
- A extensão (por exemplo, para uma área segura no interior ou para fora da edificação) e a natureza (faseada, em zonas ou total) do movimento de evacuação deve ser decidido durante a etapa do FEB;
- Os cálculos do período de movimento devem ser feitos com base nas características do grupo de ocupantes que pode ter o maior impacto no processo de movimento com um todo. Assim, sua velocidade de caminhamento deve ser adotada como dado de entrada para o modelo. Isto pode eliminar a necessidade de ajuste no tempo de movimento final;
- Os dados de entrada do edifício (comprimento ou largura das rotas, por exemplo) devem refletir os resultados de uma avaliação segura do conceito de largura efetiva;
- Utilizar um modelo computacional caro e altamente sofisticado não garante resultados confiáveis. Assim, todos os resultados de um modelo devem ser revisados e verificados tanto qualitativamente como quantitativamente.

6.3.1.5 Construção, Gerenciamento, Uso e Manutenção

As medidas relativas à evacuação das pessoas contribuem significativamente no sentido de garantir o bom funcionamento do sistema de segurança contra incêndio de um edificação, por meio das medidas físicas (rotas de fuga, saídas, sinalização, etc.) como organizacionais (plano de emergência, plano de abandono, educação e treinamento, inspeção e manutenção, etc).

O documento ressalta ainda a importância da organização dos procedimentos de emergência para o uso da edificação e que estes aspectos devem ser tratados durante o projeto e a construção com acompanhamento dos especialistas em segurança contra incêndio.

As seguintes recomendações devem ser incluídas nos procedimentos documentados de evacuação (AUSTRALIAN BUILDING CODES BOARD, 2005, p. 1.8-14):

- *Procedimentos recomendados para a evacuação controlada de edifícios, estruturas e locais de trabalho durante emergências;*
- *Orientações para a formação de um comitê de planejamento de emergência e uma organização de controle de emergências;*
- *Definição de uma organização de controle de emergências e preparação de planos e procedimentos de emergência;*
- *Responsabilidades e autoridade do pessoal da organização de controle de emergência enquanto exercem a função;*
- *Um programa de educação e treinamento.*

Em relação à manutenção, também é recomendada a inclusão da responsabilidade sobre os seguintes aspectos (AUSTRALIAN BUILDING CODES BOARD, 2005, p. 1.8-14):

- **Manutenção de medidas físicas:** O gerenciamento deve garantir inspeções regulares para que as rotas de fuga sejam mantidas desobstruídas, todas as portas funcionem como requerido e todas as sinalizações estejam em bom estado.
- **Manutenção da organização e dos procedimentos de emergência.** O gerenciamento deve garantir que a organização atende no tempo apropriado, sessões de treinamento e exercícios de abandono sejam realizados, procedimentos de emergência sejam revistos, testados e atualizados, todas as funções estejam preenchidas, treinadas e os registros estejam devidamente mantidos.

6.3.2 BS PD 7974-6:2004 – The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings – Part 6: Human factors: Life safety strategies – Occupant evacuation, behaviour and condition (Sub-system 6)

Em sua Introdução, este documento apresenta uma explanação sobre a inserção deste subsistema no sistema de avaliação global de segurança contra incêndio, considerando o fluxo de informações e os dados de entrada, em quatro áreas principais:

- a) Projeto do edifício e estratégia de gerenciamento da segurança à vida em emergências;
- b) Características dos ocupantes;
- c) Dinâmica das simulações de incêndio;
- d) Efeitos da intervenção externa.

O objetivo principal deste subsistema é prover um ambiente seguro para os ocupantes do edifício durante o tempo que estes precisam permanecer no seu interior e proporcionar meios seguros de saída com capacidade suficiente para que todos os ocupantes tenham condições de abandonar o edifício com segurança.

6.3.2.1 Princípios básicos

A avaliação da segurança à vida em situação de incêndio depende de informações dos demais subsistemas, a cada incremento de tempo, para se determinar o tempo necessário para o abandono do edifício, que inclui:

- a) Tempo entre ignição e detecção do incêndio;
- b) Tempo entre detecção e alarme do incêndio;
- c) Tempo para evacuação, que possui duas grandes fases:
 - I. Pré-movimento; e
 - II. Deslocamento.

No caso deste documento, estes tempos são introduzidos junto a outros tempos, conforme pode ser visto na Figura 6.11 e cujas definições seguem abaixo:

- Tempo Disponível para a Evacuação Segura - TDES (*Available Safe Escape Time - ASET*): Tempo disponível calculado, entre a ignição de um incêndio e o momento em que o critério de “tolerância” é excedido num espaço específico dentro de um edifício.
- Tempo Requerido para a Evacuação Segura – TRES (*Required Safe Escape Time - RSET*): Tempo calculado entre o momento da ignição de um incêndio e o tempo em que os ocupantes de um espaço específico de um edifício conseguem atingir um local seguro.
- Tempo de Evacuação: Intervalo entre o tempo que um aviso de incêndio é transmitido aos ocupantes e o tempo em que todos os ocupantes alcançam o local seguro.
- Tempo de Pré-movimento: Intervalo entre o tempo em que um aviso de incêndio é dado e o primeiro movimento em direção à saída. Este tempo possui dois componentes:
 - Reconhecimento – intervalo entre o tempo do aviso de incêndio e a primeira resposta ao aviso;
 - Resposta – intervalo entre o tempo da primeira resposta e o tempo do primeiro movimento em direção à saída.
- Tempo de Deslocamento: Tempo necessário para todos os ocupantes de uma parte específica de um edifício, uma vez que o movimento de abandono é iniciado, alcançarem um local seguro.

Figura 6.11 - Esquema simplificado do processo que envolve o tempo de evacuação, comparado ao tempo disponível para evacuação segura.

Fonte: British Standards Institution (2004, p.6), nossa tradução.

Este documento deixa claro que, no projeto com base no desempenho, a avaliação do projeto de saídas de emergência depende da comparação que se realiza entre o tempo disponível para a evacuação segura dos ocupantes (TDES) e o tempo requerido para a evacuação segura (TRES). Esta abordagem permite contornar as restrições impostas pelos regulamentos prescritivos, desde que se comprove a eficácia da solução alternativa proposta e, também, permite a avaliação de soluções para edifícios complexos ou inovadores, onde as regras prescritivas podem não ser diretamente aplicáveis.

O cálculo do TDES envolve a estimativa das curvas tempo-concentração (ou intensidade) dos principais produtos da combustão (gases, fumaça e calor) e os limites toleráveis dos mesmos, que são tratados em outros documentos relacionados (BS PD 7974-0 a PD 7974-3 e outros).

Já o cálculo do TRES depende dos tempos para detecção e alarme, além dos parâmetros relacionados ao movimento e comportamento das pessoas durante o abandono do edifício.

A Margem de Segurança é representada pela diferença de tempo entre o TDES e o TRES. Porém, considerando que pode haver incertezas em cada etapa dos cálculos desses tempos, o documento sugere a introdução de fatores de segurança ao longo dos cálculos envolvidos.

6.3.2.2 Elementos para quantificação dos tempos

Este documento também fornece, nos seus anexos, considerações para definição dos parâmetros que permitem quantificar os tempos para as diferentes fases do processo de evacuação do edifício. O tempo necessário para o abandono seguro (TRES) é composto dos seguintes tempos:

$$t_{TRES} = \Delta t_{det} + \Delta t_a + (\Delta t_{pre} + \Delta t_{desl}) \quad (\text{Equação 36})$$

onde:

- ❖ Δt_{det} : tempo da ignição até a detecção do incêndio por um sistema automático ou por detecção humana;
- ❖ Δt_a : tempo da detecção até o alarme geral;
- ❖ Δt_{pre} : tempo de pré-movimento para os ocupantes do compartimento ou edifício, inclui tempo de reconhecimento e de resposta;
- ❖ Δt_{desl} : tempo de deslocamento dos ocupantes do compartimento ou do edifício, que por sua vez, pode ser subdividido em: a) tempo para caminhamento; b) tempo para formação de filas nas saídas; e c) fluxo nas saídas.

6.3.2.3 Cenários comportamentais para quantificação dos tempos de pré-movimento e de deslocamento

Os tempos de pré-movimento e de deslocamento são fortemente influenciados por aspectos comportamentais dos ocupantes, que são tratados como “cenários comportamentais”, analogamente aos “cenários de incêndio”. O comportamento dos ocupantes depende de uma série de fatores que incluem:

- Características do edifício (tipo de ocupação, método de detecção do incêndio e de alarme, sistema de gerenciamento da segurança contra incêndio e distribuição dos ambientes - leiaute);
- Características dos ocupantes: número, nível de alerta (acordado ou dormindo) e familiaridade com o edifício e seus sistemas;
- Dinâmica do incêndio, nas situações onde os ocupantes estão expostos aos efeitos do incêndio.

Apesar de parte destes fatores ser quantificável, outros que afetam o comportamento dos ocupantes não o são, isto é, são essencialmente qualitativos. Comportamentos individuais são extremamente complexos, porém, quando os ocupantes são considerados em grupo, torna-se possível identificar situações e cenários comuns que são úteis na estimativa de tempos de evacuação, quando a finalidade é obter parâmetros para projeto. Desta forma, dados quantitativos, de tempos de alarme e de pré-movimento, em particular, têm sido obtidos em observações realizadas durante casos de incêndio reais e durante movimentos de evacuação monitorados (simulação), para os principais tipos de cenários comportamentais. Estes dados são combinados com o cálculo de tempo para deslocamento que permite um método para estimativa de tempo para abandono de forma simples e com certa confiabilidade (robustez).

Os cenários identificados neste documento são apresentados no Quadro 6.12, sendo que para cada cenário, o tempo “default” pode ser determinado com função do tipo de sistema de gerenciamento da segurança contra incêndio e o tipo de alarme adotado.

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
ROSARIA ONO

Categoria	Nível de alerta do ocupante	Familiaridade do ocupante	Densidade de ocupação	Compartimentos/complexidade	Exemplos de tipos de ocupação
A	Acordado	Familiarizado	Baixa	Um ou mais	Escritório ou Indústria
B1	Acordado	Não familiarizado	Alta	Um ou poucos	Lojas, restaurantes, espaços de circulação
B2	Acordado			Um com foco	Cinemas, teatros
Ci	Sonolento Ocupação individual de longo prazo	Familiarizado	Baixa	Poucos	Casas isoladas Sem gerenciamento 24 horas no local
Cii	Sonolento Ocupação com gerenciamento				Edifícios residenciais, Flats
Ciii	Sonolento	Não familiarizado	Baixa	Muitos	Hotéis e Hospedarias
D	Cuidados médicos	Não familiarizado	Baixa	Muitos	Residencial / institucional
E	Transporte	Não familiarizado	Alta	Muitos	Estações de trem / Aeroportos

Quadro 6.12 - Cenários comportamentais de projeto e tipos de ocupação.

Fonte: British Standards Institution (2004, p.9), nossa tradução.

Resumidamente, existem quatro cenários comportamentais, a saber:

- Ocupantes acordados e familiares com o edifício e seus sistemas;
- Ocupantes acordados, mas não familiares com o edifício e seus sistemas;
- Ocupantes dormindo e familiares com o edifício e seus sistemas;
- Ocupantes dormindo e não familiares com o edifício e seus sistemas.

O documento trata ainda dos seguintes itens sobre os cenários comportamentais:

1. Principais fatores que podem modificar o cenário em cada categoria de uso;
2. Classificação do tipo de gerenciamento de segurança contra incêndio e seus efeitos no tempo de abandono;
3. Estimativa dos tempos de pré-movimento com base nos cenários comportamentais;
4. Estimativa dos tempos de deslocamento com base nos cenários comportamentais;

5. Interações entre o tempo de pré-movimento, tempo de deslocamento e o tempo de fluxo nas saídas para o cálculo do tempo de abandono total;
6. Cálculos dos tempos de abandono para compartimentos únicos e para edifícios de múltiplos pisos e múltiplos compartimentos.

6.3.2.4 Condições dos Ocupantes

Os efeitos fisiológicos e psicológicos da exposição ao incêndio podem influenciar na capacidade de abandono dos ocupantes e levar à incapacidade física, a danos permanentes ou até a morte. Portanto, é importante determinar limites razoáveis de tolerância para os ocupantes permanecerem num local relativamente seguro ou utilizar as rotas de fuga, assim como determinar os efeitos de qualquer exposição na capacidade de abandono e na saúde dos ocupantes.

Assim, o documento discute os vários pressupostos que podem ser assumidos pelo projeto, em relação à segurança das pessoas:

1. Exposição “zero”: os ocupantes terão condições para abandono seguro, com visibilidade completa e ar limpo, pois o projeto considera que haverá uma altura livre de fumaça de 2,5m nas rotas de fuga e a temperatura na camada superior não deverá ultrapassar 200°C;
2. Exposição à baixa densidade de fumaça ao adentrar rotas de fuga: os ocupantes não adentrarão as rotas de fuga caso a visibilidade seja menor que 3 metros e, sua habilidade em continuar a se movimentar dependerá da densidade da fumaça e o nível de irritabilidade da mesma no interior da rota;
3. Exposição à baixa densidade de fumaça ao caminhar ao longo de rotas de fuga: uma visibilidade de até 5 metros para pequenos ambientes e 10 metros para grandes ambientes, mas pode variar em função dos efeitos dos gases irritantes;
4. Efeitos da fumaça na velocidade de deslocamento: a velocidade decai em função da densidade da fumaça e da irritabilidade da mesma (maiores informações no Anexo G do documento);
5. Exposição às chamas e ao calor: o calor radiante de até 2,5 kW/m² é tolerável por alguns minutos, mas valores superiores podem causar dor e queimaduras na pele sem proteção, e o calor convectivo superior a 121°C também provoca o mesmo

efeito, já as vias respiratórias sofrem queimaduras com a inalação do ar com temperatura superior a 60°C quando saturado com vapor d'água;

6. Exposição aos gases tóxicos: como a concentração dos diferentes gases irritantes dependem da composição do material combustível e das condições de combustão, é proposto que se assuma que os gases envolvidos em incêndios típicos sejam considerados moderadamente irritantes; já os gases asfixiantes em pequena quantidade não afetam os ocupantes, porém em grandes doses, causam incapacitação e morte, portanto este último não tem influência no TRES mas é determinante no TDES.

6.3.2.5 Métodos de cálculo dos tempos TDES e TRES

Métodos de cálculo mais abrangentes levam ao uso de modelos computacionais com a representação física dos compartimentos do edifício, assim como das rotas de fuga. Os ocupantes com uma faixa de características comportamentais são distribuídos nos vários compartimentos do edifício e tanto a localização como as condições fisiologias e psicológicas deles são calculadas, individualmente, para cada incremento de tempo. Ao variar os parâmetros dos ocupantes e do edifício, é possível obter tempos de abandono para uma série de cenários.

Outra forma de cálculo, mais simples e robusta, é proposta neste documento, com base nas principais etapas do processo de abandono. Cada etapa é representada por um valor que quando somados, perfazem o tempo estimado para abandono (TRES). As etapas consideradas são:

- a) Tempo para detecção;
- b) Tempo para dar o alarme geral;
- c) Tempo de pré-movimento. Para um grupo de ocupantes, pode-se considerar a subdivisão em duas fases:
 - I. Tempo de pré-movimento dos primeiros e poucos ocupantes;
 - II. Distribuição do tempo de pré-movimento de todos os ocupantes, desde os primeiros até os últimos (pré-movimento do 99º percentil);
- d) Tempo de deslocamento, que consiste de três componentes:

- I. Tempo de caminhada: tempo médio necessário para o movimento dos ocupantes do ponto inicial para uma rota protegida / segura (ou para o exterior do edifício);
- II. Tempo para formação de fila nas saídas;
- III. Tempos dos fluxos de saída.

Estas etapas são utilizadas para o cálculo de dois tipos de abandono:

- Abandono onde as densidades de ocupação são altas e o tempo de abandono é dominado pelas limitações do fluxo de saída;
- Abandono onde o número de ocupantes e a densidade de ocupação são baixos, com pessoas espalhadas por vários compartimentos. Neste caso, o tempo de abandono é dominado pela distribuição dos tempos de pré-movimento e o tempo de deslocamento.

É necessário obter os tempos estimados de detecção, alarme e pré-movimento das primeiras pessoas para ambos os casos. Prossegue-se com a estimativa de cálculo, para cada tipo de abandono.

Para o abandono limitado pelo fluxo, a próxima etapa é estimar o tempo de formação da fila, que depende dos estágios iniciais do pré-movimento e das distribuições do tempo de deslocamento. Em seguida, calcula-se o tempo de fluxo para toda a população. Este método não pode ser utilizado para situações complexas ou em edifícios com grande número de compartimentos e várias rotas de fuga.

Para o abandono limitado pelo tempo do pré-movimento e do deslocamento, a etapa seguinte é estimar faixa de distribuição do tempo de pré-movimento e obter o tempo médio de deslocamento. Este último depende da distância a percorrer e da velocidade de caminhada dos ocupantes.

Como já foi visto anteriormente, caso se considere a exposição das pessoas aos efeitos do incêndio, alterando o seu comportamento durante o abandono, é necessário considerar esta influência na determinação do TRES. Em geral, os dados do incêndio e de seus produtos fornecem os limites de tolerância que vão determinar o TDES.

6.3.3 ISO/TR 13387-8: 1999 – Fire safety engineering – Part 8: Life safety – Occupant behaviour, location and condition (Sub-system 5 of the total fire safety design system)

O objetivo de qualquer estratégia de segurança à vida, segundo este documento, é garantir que, numa situação de incêndio, os ocupantes serão capazes de deixar o edifício, evacuar para um local definido no interior do edifício ou permanecer no local, sem ficar expostos a condições insustentáveis. A estratégia não deve depender, normalmente, de intervenção / assistência direta aos ocupantes, exceto em casos especiais, como para evacuação de pessoas com deficiência (International Organization for Standardization, 1999, p.6)

O documento é composto de um corpo principal cuja estrutura contempla, inicialmente, uma explanação sobre a inserção deste Subsistema 5 no conjunto de documentos relacionados à engenharia da segurança contra incêndio (ISO /TR 13387-1 a ISO /TR 13387-7).

Em seguida, este documento apresenta um fluxograma com os principais parâmetros de projeto do Subsistema 5 em seu núcleo, considerando os dados de entrada (input) provenientes do sistema global de informações e os dados de saída (output) que retornam ao sistema, para avaliação global do projeto.

Para determinação da adequabilidade do projeto de engenharia de segurança contra incêndio do ponto de vista da segurança à vida, o documento apresenta uma estrutura focada no impacto dos cenários do incêndio nos ocupantes, a cada incremento de tempo, em relação a duas situações:

- a) Localização;
- b) Condições fisiológicas e psicológicas.

“A localização dos ocupantes e a dinâmica de seu deslocamento no interior do edifício ao longo do tempo, durante o uso normal e numa situação de emergência, dependem da interação de uma série de parâmetros relacionados às

características do edifício e dos seus ocupantes, do sistema de gerenciamento de segurança contra incêndio existente e do desenvolvimento do incêndio. As condições dos ocupantes dependem de seu estado psicológico e fisiológico antes do incêndio e os efeitos da emergência em curso, incluindo a exposição às chamas e aos gases quentes". (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1999, p. 6, tradução nossa).

A Figura 6.12 apresenta o fluxograma com os principais dados de entrada necessários para determinar as condições e a localização dos ocupantes ao longo do tempo, a saber:

1. Parâmetros pré-definidos de projeto (características do edifício e estratégias do gerenciamento de segurança contra incêndio, além das características dos ocupantes);
2. Os dados das dinâmicas de simulações do fenômeno do incêndio / combustão (dados sobre o alarme de incêndio e de outros sinais do fenômeno, assim como sobre o tamanho e extensão do fogo, densidade da fumaça, concentração dos gases tóxicos, temperatura e fluxo de calor nos compartimentos do edifício e a atuação de sistemas de extinção de incêndio e de controle do movimento da fumaça).
3. Efeitos das atividades de intervenção externa (avaliação das possibilidades de intervenção do corpo de bombeiros, em função de sua capacidade de combate, dos parâmetros do edifício e dos ocupantes, assim como dos cenários de fogo).

Figura 6.12 – Fluxograma da engenharia da segurança à vida.

Fonte: International Organization for Standardization (1999, p.5), tradução nossa.

6.3.3.1 Localização dos Ocupantes

Em relação à localização dos ocupantes, o documento considera a ocorrência de duas fases temporais, denominadas “pré-movimento” e “movimento”.

A fase “pré-movimento” ocorre entre o alarme ou outra evidência do incêndio e o início do movimento de abandono e pode ser subdividido em “reconhecimento” e

“resposta”. O “reconhecimento” é o período entre a percepção de uma evidência da emergência e antes de qualquer reação do ocupante à evidência. Neste período, os ocupantes normalmente estão exercendo alguma atividade e o tempo para a reação pode demorar em função de vários fatores como o tipo do edifício, o perfil dos ocupantes, o sistema de alarme e de gerenciamento de segurança contra incêndio existente. A fase de “resposta” compreende o período entre o reconhecimento da emergência e o início do abandono do edifício, e pode incluir várias ações como: investigar / confirmar a existência de uma emergência; interromper processos de produção e máquinas; procurar e juntar crianças e outros membros da família; combater o fogo; decidir qual é a saída apropriada; alertar outras pessoas, podendo incluir outras atividades não relacionadas à emergência. O tempo de “pré-movimento”, portanto, é a soma do tempo de “reconhecimento” e de “resposta” e pode variar dentre indivíduos num compartimento e dentre grupos em diferentes compartimentos do mesmo edifício.

A fase de “movimento” se inicia com o início efetivo do movimento da evacuação e termina quando os ocupantes alcançam um local seguro. O tempo de “movimento” depende de uma série de fatores, como as características do edifício, a familiaridade dos ocupantes com o espaço, a localização do incêndio e os procedimentos de gerenciamento de segurança contra incêndio.

O Quadro a seguir apresenta, resumidamente, os principais dados de entrada e saída do subsistema “saídas de emergência”, em relação à “localização” dos ocupantes, considerando as fases de Pré-movimento e Movimento.

**O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS**
ROSARIA ONO

Tempo	Fatores	Dados de Entrada	Dados de Saída
Pré-movimento (Reconhecimento)	Parâmetros de projeto do edifício	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de ocupação; • Planta do edifício, leiaute e dimensões; • Conteúdo; • Sistema de alarme; • Procedimentos de gerenciamento de segurança contra incêndio 	Tempo de reconhecimento para cada ocupante e distribuição dos tempos de reconhecimento por grupo em cada compartimento
	Situação dos Ocupantes	<ul style="list-style-type: none"> • Número e localização; • Características como idade e condições de saúde; • Atividade • Condições de ocupação. 	
	Dinâmica das simulações	<ul style="list-style-type: none"> • Condição do edifício e localização do fogo; • Visibilidade da fumaça ou do fogo; • Exposição ao calor e aos produtos da combustão; • Situação e tipo de alarme de incêndio; • Outros tipos de alarme ou evidências do fogo; • Situação do sistema de proteção ativa. 	
Pré-movimento (Resposta)	Parâmetros de projeto do edifício	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de ocupação; • Plantas, leiautes e dimensões; • Conteúdo; • Sistema de alarme; • Procedimentos de gerenciamento de segurança contra incêndio; • Sinalização; • Iluminação; • Localização das saídas e complexidade dos leiautes dos compartimentos 	Tempo de resposta para cada ocupante e distribuição dos tempos de resposta dos grupos em cada compartimento.
	Condição dos ocupantes	<ul style="list-style-type: none"> • Número de ocupantes e localização inicial; • Características dos ocupantes: idade e condições de saúde; • Atividades dos ocupantes antes da emergência; • Relação familiar ou de grupo; • Condições do ocupante. 	
	Dinâmica das simulações	<ul style="list-style-type: none"> • Condições do edifício e localização do fogo; • Visibilidade da fumaça ou fogo; • Exposição ao calor e aos produtos da combustão; • Situação e tipo de alarme de incêndio; • Outros tipos de alarme ou evidências do fogo; • Situação do sistema de proteção ativa. 	
Movimento	Principais fatores	<ul style="list-style-type: none"> • Número e distribuição dos ocupantes imediatamente antes da evacuação • Situação do ocupante (idade, capacidade mental e física, relação familiar e de grupo, atributos culturais, etc.) • Seleção da saída • Densidade ocupacional ao longo do tempo • Distância a percorrer e tempo correspondente • Fluxo por portas, corredores e escadas 	Localização de todos os ocupantes do edifício ao longo do tempo, desde o início da evacuação até os ocupantes atingirem um local seguro

Quadro 6.13 – Dados de entrada e saída do subsistema “Saídas de emergência” em relação à localização dos ocupantes.

6.3.3.2 Condições Psicológicas e Fisiológicas dos Ocupantes

Dentre os principais fatores que podem influir nas condições psicológicas e fisiológicas dos ocupantes durante um incêndio estão: a aparência visual do incêndio (capacidade de ver a fumaça ou as chamas); o obscurecimento visual pela fumaça; a irritação provocada pela fumaça; os efeitos dos gases asfixiantes e o calor de radiação e de convecção.

O Quadro a seguir apresenta, resumidamente, os principais dados de entrada e de saída do subsistema “saídas de emergência”, em relação à “condição” dos ocupantes, incluindo os fatores acima citados.

Efeitos	Fatores	Dados de Entrada	Dados de Saída
Efeitos Psicológicos do incêndio	Fumaça e chamas	<ul style="list-style-type: none"> Densidade ótica da fumaça no local ocupado e nas potenciais rotas de fuga. Aparência visual do fogo (altura e área das chamas) e posição em relação ao ocupante e as potenciais rotas de fuga. 	Probabilidade de uso de determinada rota de fuga pelos ocupantes. Rotas de fuga comprometidas com fumaça acima o nível aceitável não devem ser consideradas como disponíveis para uso.
Efeitos fisiológicos e psicológicos combinados	Calor radiante	<ul style="list-style-type: none"> Fluxo do calor radiante para o ocupante a cada incremento de tempo 	As condições devem ser consideradas impróprias nas rotas de fuga quando ultrapassam os limites estipulados. Existe probabilidade de queimaduras graves se os limites forem desrespeitados.
	Exposição à fumaça	<ul style="list-style-type: none"> Densidade ótima da fumaça a cada incremento de tempo 	Condições de permanência no local ou de utilização da rota de fuga e nível de comprometimento da capacidade de abandono.
	Gases tóxicos irritantes	<ul style="list-style-type: none"> Idade de condições de saúde dos ocupantes; Concentração dos gases a cada incremento de tempo 	Condições satisfatórias ou insatisfatórias para permanecer no local ou utilizar as rotas de fuga.
	Gases tóxicos asfixiantes	<ul style="list-style-type: none"> Idade de condições de saúde; Concentração dos gases asfixiantes a cada incremento de tempo 	Incidência do nível de incapacitação dos ocupantes (satisfatório / insatisfatório)
	Calor	<ul style="list-style-type: none"> Fluxo de calor radiante para o ocupante a cada incremento de tempo; Temperatura no local de cada ocupante; Conteúdo de vapor d'água (% em volume) no local de cada ocupante. 	As condições do local devem ser consideradas impróprias e as rotas de fuga, bloqueadas, quando são ultrapassados os limites estipulados. Existe alta probabilidade de queimadura ou hipertermia se os ocupantes sofrerem exposição acima do limite.

Quadro 6.14 - Dados de entrada e saída do subsistema “Saídas de emergência” em relação à condição dos ocupantes.

6.3.3.3 Métodos de engenharia

Ao determinar uma ou mais soluções de projeto com base do desempenho e os cenários de incêndio, o documento prossegue com a quantificação dos dados, que pode ser realizada de várias formas, em função da complexidade da análise, podendo ser por meio de:

- Cálculos simples;
- Análises determinísticas com base em cálculos computacionais;
- Estudos probabilísticos;
- Métodos experimentais.

Segundo o documento, a evolução dos métodos de engenharia para avaliação da localização dos ocupantes envolve, basicamente, os modelos de movimentação de pessoas em situação não emergencial (mais antigos), seguidos dos modelos experimentais de abandono em edifícios e os modelos computacionais de simulação de situações de emergência (mais recentes). Este último incluindo, gradativamente, os vários aspectos relacionados ao comportamento humano. Por outro lado, os métodos de engenharia para avaliação da condição dos ocupantes levam em consideração dados experimentais e cálculos relativos ao desenvolvimento do incêndio para determinar os níveis de tolerância dos ocupantes submetidos aos efeitos do incêndio.

Este documento inclui, ainda, dois anexos informativos que servem de roteiro para coleta de informações sobre o edifício e seus ocupantes e sobre a intervenção externa para combate e salvamento, sob os títulos de 1) *Annex A – Building and occupant information* e 2) *Annex B – Firefighting and rescue facilities*.

É importante notar que este documento não apresenta nenhum parâmetro ou limite de tolerância ou de tempo, remetendo o usuário do documento às referências bibliográficas, que são da primeira metade da década de 1990.

6.3.4 NFPA 101-Chapter 5 (2009 Edition). Life Safety Code: Performance-Based Option – Means of Egress

Apesar do “Life Safety Code Handbook” (COTÉ; HARRINGTON, 2009) não apresentar, em seu capítulo 5, a estrutura de subsistemas, existente nos demais documentos analisados até aqui, considerou-se importante incluir a sua análise do ponto de vista das “Saídas de Emergência” nesta tese.

Como já visto anteriormente, este Código como um todo dá ênfase, nos seus objetivos, à segurança dos ocupantes e, portanto, trata particularmente das saídas de emergência e direciona as demais medidas de segurança contra incêndio para o atendimento das normas específicas. No entanto, os tópicos relacionados com as estratégias das saídas de emergência são destacadas a seguir.

6.3.4.1 Critérios de desempenho

Na sua Seção 5.2, “Critérios de Desempenho (*Performance Criteria*)”, o Código determina, como já visto anteriormente, que “qualquer ocupante que não está próximo à fonte de ignição não deve ficar exposto a condições insustentáveis de forma instantânea ou cumulativa”.

A informação complementar fornecida sobre esta questão, no item A.5.2.2 do *Life Safety Code Handbook* (COTÉ; HARRINGTON, 2009), é a opção de quatro métodos para interpretar este critério de desempenho, a saber:

- Método 1: a equipe de projeto pode definir um critério que garanta que os ocupantes não serão incapacitados pelos efeitos do incêndio. Para tanto, seria necessário determinar os limites de incapacitação dos efeitos do monóxido de carbono, ácido cianídrico, dióxido de carbono, ácido clorídrico, etc., além dos efeitos do calor (calor de convecção e radiação) e do escurecimento do ambiente causado pela fumaça;
- Método 2: para cada cenário de projeto e especificações, condições e premissas correspondentes, a equipe de projeto deve demonstrar que todas as áreas vão

ser evacuadas antes que a camada de fumaça e gases tóxicos diminuam a altura livre a um valor inferior a 1830 mm (6 pés);

- Método 3: para cada cenário de projeto, especificações e premissas, a equipe de projeto deve demonstrar que a camada de fumaça e gases tóxicos não invadirá a altura livre de 1830 mm em nenhum ambiente ocupado;
- Método 4: para cada cenário de projeto, especificações e premissas, a equipe de projeto deve demonstrar que nenhum efeito do incêndio atingirá qualquer ambiente ocupado.

Fica claro que o Método 1 admite a exposição dos ocupantes aos efeitos do incêndio até um certo limite, e que os demais métodos aumentam, gradualmente, o nível de segurança aos ocupantes, atingindo, no Método 4, o nível máximo, ou seja, aquele em que não se admite nenhuma exposição dos ocupantes ao perigo do incêndio.

O Método 1 é mais ousado e exige do projetista um domínio maior sobre os fatores envolvidos, assim como o uso de ferramentas mais elaboradas para demonstrar que o projeto atende ao critério de desempenho.

Já o Método 4 é o mais conservador e mais simples, onde é possível, por procedimentos de projeto menos elaborados, atender ao critério de desempenho. Porém, este pode não atender às demandas projetuais em alguns casos.

6.3.4.2 Cenários de projeto

A Seção 5.5 do código, “Cenários de Incêndio de Projeto (Design Fire Scenarios)”, apresenta, no seu item 5.5.3, oito cenários de incêndio que devem ser incluídos na avaliação do projeto, porém não os limita a estes, permitindo a inclusão de outros adicionais. Estes cenários são apresentados, resumidamente, no Quadro 6.15, pois influem nas estratégias de abandono do edifício.

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
ROSARIA ONO

Cenário	Descrição	Comentário
01	Cenário representativo do tipo de ocupação considerado; Deve considerar explicitamente: a) Atividades dos ocupantes; b) Número e localização; c) Dimensões do cômodo; d) Mobiliário e conteúdo; e) Propriedade dos combustíveis e fontes de ignição; f) Condições de ventilação; e g) Identificação do primeiro item a ser ignizado e sua localização.	Este cenário tem como objetivo assegurar que os tipos de incêndios mais típicos para uma dada ocupação sejam considerados. É importante incluir mais de um cenário deste tipo, considerando as variações possíveis e típicas.
02	Incêndio de rápido desenvolvimento, no interior de uma rota de fuga, com as portas internas abertas no início do incêndio.	Este cenário inclui um incêndio por meio de acelerante, como gasolina, na rota de fuga. Considerar os efeitos da redução das rotas de fuga disponíveis, escolhendo a rota com a maior capacidade de fuga normalmente utilizada no dia-a-dia. As portas internas da edificação devem ser assumidas como abertas no início do incêndio.
03	Incêndio com início num cômodo sem ocupação, trazendo perigo a um grande número de ocupantes num espaço maior.	Situação do incêndio num local desocupado migrando para um local com potencial de grande ocupação. Na ignição, as portas dos dois espaços devem ser assumidas como abertas. Incluir perfil de população típica da ocupação considerada.
04	Incêndio que se origina num espaço confinado de parede ou forro, adjacente a um local com grande número de ocupantes.	Situação de um incêndio num local onde não há meios de detectá-lo rapidamente e que permite o desenvolvimento do incêndio sem controle inicial. Na ignição, as portas do edifício devem ser assumidas como abertas.
05	Incêndio de desenvolvimento lento, longe de sistemas de extinção, mas próximo a áreas de alta densidade ocupacional.	Situação de incêndio de pequena escala que pode trazer grandes consequências, como fogo de ponta de cigarro numa cesta de lixo. Na ignição, as portas internas do edifício devem ser assumidas como abertas.
06	Incêndio com origem no local de maior concentração possível de combustível, característico da ocupação normal do edifício.	Situação de incêndio de um incêndio de rápido desenvolvimento e severo, com pessoas presentes. Na ignição, as portas internas do edifício devem ser assumidas como abertas.
07	Incêndio de origem externa.	Situação de incêndio iniciado longe do edifício, porém, se propagando e bloqueando as saídas deste ou desenvolvendo condições insustentáveis no edifício.
08	Incêndio em material combustível comum no interior de um cômodo ou área, com falha em cada um dos sistemas de proteção ativa e passiva.	Situação de incêndio que considera a falha no sistema de proteção, individualmente. Não é necessário considerar os sistemas que não são exigidos compulsoriamente pelas autoridades locais.

Quadro 6.15 – Cenários (de incêndio) de projeto

6.3.4.3 Exigências prescritivas

No seu Capítulo 5, dentre os itens que o Código não abre mão, em relação às saídas de emergência, é o atendimento dos seguintes requisitos e dimensionamentos pré-definidos por exigências prescritivas do Capítulo 7 do mesmo documento:

- Mudanças de nível de piso (item 7.1.7);
- Guarda-corpos (item 7.1.8);

- Portas (item 7.2.1);
- Escadas (item 7.2.2);
- Rampas (item 7.2.5);
- Escadas do tipo marinheiro (item 7.2.9);
- Dispositivos alternativos (item 7.2.11);
- Capacidade das saídas (Seção 7.3);
- Impedimentos à saída (Item 7.5.2);
- Iluminação das rotas de fuga (Seção 7.8);
- Iluminação de emergência (Seção 7.9);
- Sinalização das rotas de fuga (Seção 7.10).

6.3.4.4 Características dos ocupantes

Este capítulo destaca as características dos ocupantes como fator essencial de projeto, principalmente em relação às suas respostas a uma emergência. Assim, estas características básicas de resposta identificadas são: sensibilidade, reatividade, mobilidade e susceptibilidade, sintetizadas no Quadro 6.16. A avaliação destas características inclui a sua distribuição na população considerada para o tipo de uso do edifício conforme comentários do item A.5.4.5.2 do Capítulo 5 (COTÉ; HARRINGTON, 2009, p. 78).

Característica	Descrição
Sensibilidade	Habilidade em reconhecer o som de um alarme. Inclui também o discernimento e a identificação visual e olfativa, além dos sinais auditivos do incêndio.
Reatividade	Habilidade de interpretar os sinais corretamente e tomar ações apropriadas. Pode ser uma função de capacidade cognitiva, de velocidade de reação instintiva ou de dinâmica de grupo. Deve-se considerar as consequências de uma decisão errada, como aquela que depende da familiaridade do ocupante.
Mobilidade (velocidade de movimento)	Determinada para capacidade individual assim como pelo fenômeno do congestionamento de pessoas, em pontos de afunilamento como em portas.
Susceptibilidade	A susceptibilidade individual aos produtos da combustão que inclui o metabolismo, a capacidade pulmonar, alergias e outras limitações físicas que afetam na capacidade de sobrevivência num ambiente de incêndio.

Quadro 6.16 - Características básicas de resposta dos ocupantes.

Na aplicação de modelos computacionais, um número maior de fatores pode ser considerado como componentes das características básicas de desempenho dos ocupantes, tais como os descritos no Quadro 6.17.

Característica	Descrição
Nível de alerta	Condição de estar acordado ou dormindo, pode depender do período do dia.
Capacidade de resposta	Habilidade de perceber os sinais do incêndio e reagir
Compromisso	Grau de compromisso do ocupante com a atividade em andamento antes do alarme
Ponto focal	Ponto em que a atenção do ocupante está focada (por exemplo, frente a uma classe, palco ou atendente num ambiente comercial)
Capacidade física e mental	Influência na habilidade de sentir, responder e reagir a sinais do incêndio, pode estar relacionado à idade ou habilidade física / mental.
Papel / responsabilidade	Influência do papel do ocupante, de líder ou de seguidor de ordens.
Familiaridade	Influência do tempo de vivência no edifício ou de treinamento de emergência.
Afiliação social	Forma de ação / reação do ocupante como indivíduo ou como membro de um grupo maior
Condições ao longo do incêndio	Efeitos, fisiológico e psicológico, do incêndio e dos produtos da combustão, em cada ocupante.

Quadro 6.17 - Características adicionais dos ocupantes.

Para maiores detalhes, o Código sugere consultar o *SFPE Engineering Guide to Human Behavior in Fire*, do Society of Fire Protection Engineers⁵¹ (2003 apud COTÉ; HARRINGTON, 2009, p.78).

6.3.4.5 Outras premissas

O projeto deve assumir que todas as áreas normalmente ocupadas devem ter pelo menos uma pessoa localizada no ponto mais remoto em relação à saída (item 5.4.5.3). O Código, mesmo neste capítulo, determina que a população deva ser calculada segundo os parâmetros de densidade ocupacional tradicionalmente utilizado, especificado no Capítulo 7 do documento (Tabela 7.3.1.2), ou de outra fonte reconhecida (item 5.4.5.4). Adicionalmente, o documento lembra que caso se assuma a inclusão de treinamento de pessoal como parte do sistema de segurança contra

⁵¹ SOCIETY OF FIRE PROTECTION ENGINEERS. *SFPE Engineering Guide to Human Behavior in Fire*. Bethesda: SFPE, 2003.

incêndio, este fator deve ser claramente identificado e documentado (item 5.4.5.5) (COTÉ; HARRINGTON, 2009, p.79).

6.4 Análise Comparativa dos Documentos

Análises comparativas entre os documentos considerados foram realizadas ao longo da apresentação deste capítulo, no entanto, caberiam aqui alguns outros comentários.

Há muita semelhança entre a documentação australiana (AUSTRALIAN BUILDING CODES BOARD, 2005), britânica (BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 2001; BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 2002) e internacional (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2009; INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1999), principalmente no que se refere à estrutura de apresentação, com a divisão em subsistemas, e a seqüência de abordagem do processo de projeto.

No entanto, as diferenças surgem em algumas questões conceituais, sendo que o nível de aprofundamento dos temas específicos varia. Por exemplo, o documento australiano (IFEG) apresenta uma interface muito mais prática enquanto que os documentos britânicos e internacionais preferem uma abordagem muito mais teórica e conceitual. Ao examinar todos os documentos, verifica-se, portanto, partes que se complementam, muito mais do que partes que divergem entre si.

É certo que todos eles destacam muito a importância da aplicação do método de engenharia da segurança contra incêndio por profissionais capacitados e a avaliação e aceite de soluções de engenharia por autoridades locais (ou uma terceira parte, neutra) também devidamente qualificados.

Em relação ao projeto de saídas de emergência, especificamente, nota-se também muita semelhança na estrutura de subsistema, porém, há ligeira variação no nível de detalhamento das informações. Tanto o documento australiano como o britânico adota os termos “tempo requerido para abandono com segurança” (TRES) e “tempo disponível para abandono com segurança” (TDES) e, apesar de não citado na

norma internacional (ISO), verifica-se que este conceito está inserido nesta última também. Os três documentos se utilizam também do conceito de tempos de pré-movimento e movimento, com as suas subdivisões, muito importantes na definição do tempo total necessário para o abandono seguro. Este conceito não é normalmente contemplado nos cálculos de abandono de regulamentações prescritivas, pois este último considera apenas o tempo para percorrer a distância até um local seguro.

O documento australiano se transformou, em 2005, num documento internacional, com apoio de várias entidades, conforme já relatado no início deste capítulo. É importante, no entanto, destacar a repercussão deste reconhecimento, uma vez que estas entidades são representativas em seus respectivos países.

O International Code Council (ICC) é a associação norte-americana sem fins lucrativos que desenvolve códigos modelo que são adotados por governos estaduais e inúmeros governos locais nos EUA⁵², com alterações ou adaptações em maior ou menor grau, de acordo com suas necessidades. O ICC já possuía, além do código de obras modelo do tipo prescritivo (International Building Code -IBC), o código de obras modelo com base no desempenho (ICC Performance Code for Buildings and Facilities - ICCPC) desde 2001. Porém, este último carecia de documentação complementar e de orientação para condução do processo de definição dos parâmetros de desempenho, do atendimento desses parâmetros (verificação) e da documentação das soluções para emissão do respectivo relatório. Assim, a adoção do documento australiano veio a complementar o processo de desenvolvimento do projeto com base nos métodos de engenharia de segurança contra incêndio.

A publicação também teve apoio do Institute for Research in Construction (IRC) do National Research Council Canada (NRCC). O IRC produz seus códigos modelo nacionais, à semelhança do ICC nos EUA, incluindo o National Building Code (NBC) e o National Fire Code (NFC). O IFEG não faz parte dos códigos modelos, mas foi

⁵² Segundo consulta realizada em <http://www.iccsafe.org> (acessado em 15/05/2010).

considerado um documento que pode ser útil na tarefa de atender aos requisitos de segurança contra incêndio dos códigos de obras e de segurança contra incêndio no Canadá. No entanto, o novo formato do National Building Code (NBC), desde 2005, passando de um código tipicamente prescritivo para um com “base em objetivos (objective-based)”. Isto é, além de ser manter as antigas soluções com base prescritiva, foram adicionadas ao National Building Code informações sobre os objetivos a serem atingidos e as funções a serem atendidas que permitem a adoção de soluções alternativas, abrindo caminho para as soluções com base na engenharia.

Na Nova Zelândia as versões anteriores do IFEG, que são os guias publicados em 1996 e 2001, já eram utilizadas, uma vez que este país é um dos primeiros, junto com a Austrália, a adotar soluções com base na engenharia de segurança contra incêndio. O IFEG é publicado neste país pelo Departamento de Edificações e Habitação (Department of Building and Housing), um departamento do governo neozelandês que responde diretamente para Ministério de Edificações e Construções (Ministry of Building and Construction) e para o Ministério da Habitação (Ministry of Housing). O IFEG é utilizado como um documento de orientação para o processo de projeto de soluções com base na engenharia, não tendo caráter mandatório.

O Australian Building Codes Board (ABCB), por sua vez, é um órgão estabelecido em um acordo intergovernamental assinado pelo governo australiano e as autoridades estaduais e territoriais australianas responsáveis por assunto relativos aos códigos de edificações em 1994. Este órgão congrega todos os níveis do governo australiano e inclui representantes da indústria da construção civil. O IFEG é endossado como guia de orientação por várias entidades públicas e privadas australianas relacionadas ao tema.

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
ROSARIA ONO

Página em Branco

7 IMPACTO DOS MÉTODOS PRESCRITIVOS DE DIMENSIONAMENTO EM PROJETOS ARQUITETÔNICOS

Este capítulo tem como objetivo apresentar uma análise comparativa dos aspectos dimensionais de saídas de emergência para edifícios altos de escritórios, considerando os textos prescritivos, de caráter normativo ou legislativo, previamente apresentados e comentados de forma geral no Capítulo 5 desta tese.

7.1 Método de análise

Dentre os principais valores dimensionais para as saídas de emergência em edifícios altos que têm influência sobre o fluxo de pessoas num movimento de abandono estão:

- a) As larguras das vias de escoamento horizontais (passagens, corredores) e verticais (escadas);
- b) As distâncias horizontais a percorrer até uma saída de pavimento (para escadas protegidas ou para o exterior); e
- c) O número de saídas de pavimento (para escadas protegidas ou para o exterior).

Estes três elementos foram, então, avaliados para edifícios de escritórios de múltiplos pavimentos, segundo o especificado em cada documento prescritivo analisado no Capítulo 5, a partir de parâmetros de projeto, tais como população, área útil do pavimento e altura da edificação.

7.1.1 População e Área útil

Para o cálculo da população, em qualquer um dos documentos considerados, é necessário conhecer a área do pavimento a ser analisado. Em pesquisa realizada em edifícios de escritórios existentes na cidade de São Paulo, a maior área útil de pavimento encontrada⁵³ foi de 2.844 m², nas torres do Centro Empresarial de São Paulo, projeto do

⁵³ <http://www.tishmanspeyer.com/properties/Municipality.aspx?id=7> (acessado 09/06/2010)
<http://www.buildings.com.br/edificios-comerciais/> (acessado 09/06/2010)
http://www.arcoweb.com.br/index.php?option=com_arcocontent&relacionadas=&key=Edif%EDcios+comerciais&co_mbo_tipologias=Edif%EDcios+comerciais (acessado 09/06/2010)
http://www.cyrela.com.br/web/sites/ccpsa/pt/portfolio_lajes.asp (acessado 09/06/2010)

arquiteto João Henrique Rocha, concluído em 1977. Outros edifícios com áreas de pavimento significativas obtidas nesta pesquisa são apresentados a seguir, na Tabela 7.1.

Tabela 7.1 – Exemplos de área de pavimento significativas em edifícios de escritórios de múltiplos pavimentos.

Denominação	Ano de conclusão	Arquitetura	Área de pavimento (m ²)	Número de pavimentos
Torre Norte	1999	Botti & Rubin	1.879	38
São Luiz Gonzaga	2000	E.Musa e J. Hargreaves	1.820	23
CYK	2003	Kogan, Villa & Associados	1.154	19
Faria Lima FC	2003	Collaço & Monteiro	2.219	19
Eldorado Tower	2007	Aflalo & Gasperini	1.961	32
JK 1455	2008	Kogan, Villa & Associados	1.721	16
Rochaverá	2008	Aflalo & Gasperini	1.976	16
Santa Catarina	2006	Ruy Ohtake	1.070	17
WTorre JK	2009	Arquitectonica	2.556	28

Desta forma, considerou-se, como referência, uma área útil máxima de 2800m² para o cálculo de população de um pavimento típico de escritórios.

7.1.2 Altura da edificação

A altura da edificação é um parâmetro de grande influência em medidas de segurança contra incêndio onde, normalmente, quanto mais alto do edifício, mais exigentes se tornam algumas dessas medidas. No dimensionamento das saídas de emergência de regulamentos e normas prescritivas, a quantidade mínima de saídas de pavimento (escadas) e o nível de proteção dessas saídas muitas vezes são determinados em função da altura da edificação.

Além disso, a instalação de sistema de chuveiros automáticos também é exigida em edifícios de altura que, por sua vez, permite uma distância a percorrer maior até uma saída protegida.

Alguns valores de altura em comum foram considerados no dimensionamento, com base nos textos normativos e legislativos considerados.

7.2 Dimensionamento conforme NBR 9077

7.2.1 Largura das saídas

A norma brasileira NBR 9077 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993) determina o dimensionamento tanto de vias de escoamento horizontais como verticais, pela equação 33, anteriormente apresentada e transcrita a seguir:

$$N = P/C \quad \text{(Equação 33)}$$

onde:

- N: número de unidades de passagem, arredondado para número inteiro imediatamente maior que o valor do quociente;
- P: população do pavimento calculada conforme densidade dada na Tabela 5 de Norma, por tipo de ocupação;
- C: capacidade da unidade de passagem, de acordo com o tipo de via de escoamento, conforme Tabela 5 da Norma.

Assim, inicialmente é necessário obter o valor da população (lotação) do pavimento e, posteriormente, dividi-la pela capacidade da unidade de passagem, que varia em função do tipo de via de escoamento em análise (corredor/ passagem, escadas ou portas).

Considerando que um edifício de escritórios é classificado, neste documento, como “Grupo D-1: Locais para prestação de serviços profissionais ou condução de negócios”, para o dimensionamento de saídas, a este tipo de uso/ocupação são atribuídos os seguintes valores (Tabela 7.2).

Tabela 7.2 – Valores de densidade de ocupação e capacidade de unidade de passagem.

Uso / Ocupação	Densidade de Ocupação	Capacidade da unidade de passagem (C)		
		Passagens e corredores*	Escadas e rampas	Portas
D-1	7,00 m ² por pessoa	100	60	100

* a autora resolveu substituir por “passagens e corredores” os termos “acessos e descargas”, originalmente adotados na norma, por considerar que os primeiros são mais esclarecedores.

Para se obter as faixas de variação da largura das vias de escoamento em função da lotação, variou-se o valor de “P” (lotação do pavimento), mantendo-se o valor fixo da capacidade de unidade de passagem “C”. Desta forma, obteve-se a variação do “N”, ou seja, número de unidades de passagem que, multiplicado pelo valor de 0,55 m (valor da unidade de passagem), fornece a largura total da via de escoamento em questão.

Considerando a densidade de ocupação de 7,0 m² por pessoa e a área de 2.800 m², obteve-se, 400 pessoas como a lotação máxima do pavimento. Portanto, o valor da lotação para o cálculo da largura foi variado entre 1 e 400 pessoas por pavimento.

Paralelamente ao dimensionamento da largura, em múltiplos de N, realizou-se, a título exploratório, o cálculo da largura em múltiplos de 0,5 N, como se admitia na NFPA 101, até 1988 (conforme já comentado no Capítulo 5 desta tese), com o objetivo de se aproximar dos valores do módulo do COE, de 0,30 m.

7.2.1.1 Saídas horizontais

Para cada pavimento do edifício, é necessário considerar a sua população para determinar a largura mínima das saídas horizontais. No caso de edifícios altos, a largura dessas saídas não varia nos pavimentos-tipo, que são objeto desta análise.

Para saídas horizontais, que incluem passagens, corredores e portas, para edifícios de escritórios, adota-se o “C” com valor de 100.

A Figura 7.1 apresenta o resultado da variação da população sobre a largura de corredores, considerando valores inteiros de N. Já, na Figura 7.2, a largura corresponde a unidades de 0,5 N.

Figura 7.1 – Largura de corredor em função da população atendida (NBR 9077).

Figura 7.2 – Largura de corredor em função da população atendida, para valores de 0,5N.

A Tabela 7.3 apresenta esta mesma largura de corredores em unidades de passagem “N” e em metros, especificando as faixas de lotação correspondentes para o caso de edifícios de escritórios com população até 400 pessoas por pavimento.

Tabela 7.3 – Largura de saídas horizontais segundo a NBR 9077.

Lotação (pessoas)	Largura de saídas horizontais (múltiplos de N)		Lotação (pessoas)	Largura de saídas horizontais (múltiplos de 0,5N)	
	Em Unidades de passagem	Em metros		Em Unidades de passagem	Em metros
1 a 200	2	1,10	1 a 200	2,0	1,10
201 a 300	3	1,65	201 a 250	2,5	1,38
			250 a 300	3,0	1,65
			301 a 350	3,5	1,93
301 a 400	4	2,20	351 a 400	4,0	2,20

Assim, conclui-se que largura mínima total de corredores definida para este caso é de 4 unidades de passagem, ou seja, 2,20m que podem ser distribuídos, no mínimo, em dois corredores de 2 unidades de passagem ou 1,10m cada.

7.2.1.2 Saídas verticais

Para definir a largura das saídas verticais que servem um edifício de múltiplos pavimentos, a norma determina que se considere o pavimento de maior lotação. Assumindo-se que o edifício não possui pavimentos atípicos, é possível fazer o cálculo da largura da escada para o pavimento-tipo, isto é, considerando que todos os pavimentos apresentam igual área, portanto, igual lotação.

Para saídas verticais de escritórios, que incluem escadas e rampas, adota-se o “C” com valor de 60.

A Figura 7.3 apresenta o resultado da variação da população sobre a largura de corredores, considerando valores inteiros de N e a Figura 7.4 a largura corresponde a unidades de 0,5N.

Figura 7.3 – Largura de escada em função da lotação do pavimento (NBR 9077).

Figura 7.4 – Largura de escadas em função da lotação do pavimento, para valores de 0,5N.

A Tabela 7.4 apresenta esta mesma largura de escadas em unidades de passagem “N” e em metros, especificando as faixas de lotação correspondentes para o caso de edifícios de escritórios com pavimento de maior lotação com população até 400 pessoas.

Tabela 7.4 – Largura de saídas verticais segundo a NBR 9077.

Lotação (pessoas)	Largura de saídas verticais (múltiplos de N)		Lotação (pessoas)	Largura de saídas verticais (múltiplos de 0,5N)	
	Em Unidades de passagem	Em metros		Em Unidades de passagem	Em metros
1 a 120	2	1,10	1 a 120	2,0	1,10
121 a 180	3	1,65	121 a 150	2,5	1,38
			151 a 180	3,0	1,65
181 a 240	4	2,20	181 a 210	3,5	1,93
			211 a 240	4,0	2,20
241 a 300	5	2,75	241 a 270	4,5	2,48
			271 a 300	5,0	2,75
301 a 360	6	3,30	301 a 330	5,5	3,03
			331 a 360	6,0	3,30
361 a 420	7	3,85	361 a 390	6,5	3,58
			391 a 420	7,0	3,85

Conclui-se que largura mínima total de escadas é consideravelmente maior que a de corredores definida para este caso, chegando a atingir 7 unidades de passagem, ou seja, 3,85m para a população de até 420 pessoas no pavimento. Esta largura total pode ser distribuída em várias escadas com, no mínimo, 2 unidades de passagem ou 1,10m cada.

7.2.2 Distâncias a percorrer e número mínimo de saídas

Para edifícios de escritórios (Grupo D-1), a distância a percorrer vai depender de suas características construtivas, do número de saídas de pavimento e também da existência da proteção por sistema de chuveiros automáticos.

A Norma brasileira em questão permite aumentar a distância a percorrer quando da proteção do edifício por sistema de chuveiros automáticos, porém não determina em que situação se exige a sua instalação.

Por outro lado, esta mesma Norma classifica a altura da edificação em cinco categorias, apresentadas na Tabela 7.5.

Tabela 7.5 – Classificação das edificações de acordo com sua altura.

Código	Denominação	Altura contada da soleira de entrada ao piso do último pavimento.
K	Edificações térreas	Altura contada entre o terreno circundante e o piso de entrada $\leq 1,00$ m.
L	Edificações baixas	$H \leq 6,0$ m
M	Edificações de média altura	$6,0 \text{ m} < H \leq 12,0 \text{ m}$
N	Edificações medianamente altas	$12,0 \text{ m} < H \leq 30,0 \text{ m}$
O	Edificações altas	$H > 30,0 \text{ m}$

Considerou-se, neste caso, a análise para edifícios de escritórios classificados com o código “N” e “O”, ou seja, com altura superior a 12,0m, contados do nível do piso de saída ao exterior (térreo/ descarga) até o piso do último pavimento ocupado.

Considerando que o edifício de escritórios apresenta planta-livre com área superior a 125 m², este seria classificado, em outra tabela que trata desta dimensão, como do tipo “Y”. Assumindo-se que o mesmo edifício, quando tem sua altura superior a 30 metros, deverá contar com a instalação de sistema de chuveiros automáticos para sua proteção, as distâncias a percorrer podem ser as seguintes (vide Tabela 7.6):

Tabela 7.6 – Distâncias a percorrer e número de saídas (NBR 9077).

Tipo de Edificação	Sem chuveiros automáticos		Com chuveiros automáticos	
	Saída única	Mais de uma saída	Saída única	Mais de uma saída
Y: edificações com mediana resistência ao fogo	20,00m	30,00m	35,00m	45,00m

Em relação ao número de saídas de pavimento, para edifícios de escritórios com altura superior a 12metros, a norma brasileira determina o seguinte (vide Tabela 7.7):

Tabela 7.7 – Número e tipo de saídas verticais na NBR 9077.

Ocupação	Área de pavimento	Altura	Tipo de Escada ou Rampa	Número mínimo de escadas
D	≤ 750 m²	12 < H ≤ 30m	À Prova de Fumaça	01
	> 750 m²			02
	≤ 750 m²	> 30m		01
	> 750 m²			02

Portanto, para edifícios de escritórios com mais de 12 m de altura e área de pavimento igual ou inferior a 750m^2 , exige-se o mínimo de uma escada do tipo à prova de fumaça. E, no caso de edifícios com pavimentos com área superior a 750m^2 , exigem-se pelo menos duas escadas do tipo à prova de fumaça.

7.2.3 Conclusões do processo de dimensionamento

Caso o edifício considerado tenha altura superior a 30m e área de pavimento igual ou inferior a 750 m^2 , exige-se pelo menos uma escada do tipo protegida e, se área for considerada para o cálculo da lotação, ter-se-á uma população de até 108 pessoas. A largura mínima do corredor ou passagem deve ser de 1,10m com, no máximo, 35 m de distância a percorrer até atingir a escada (única) que deve ter, no mínimo 1,10m de largura. Caso não seja possível atingir a única saída, após percorrer a distância de 35m, será necessária a instalação de uma segunda escada com, no mínimo, a mesma largura.

Se o edifício possui altura superior a 30m e área de pavimento superior a 750 m^2 , exige-se pelo menos duas saídas verticais do tipo à prova de fumaça que devem ser atingidas por rotas de fuga horizontais numa distância máxima a percorrer de 45m. A largura tanto das rotas horizontais como verticais, neste caso, dependerá da lotação do pavimento-tipo, conforme apresentado, respectivamente, na Tabela 7.3 e na Tabela 7.4, podendo atingir a largura total máxima de 2,20m (4 unidades de passagem) para corredores e 3,85m (7 unidades de passagem) para escadas.

7.3 Dimensionamento conforme IT 11/CBPMSP

7.3.1 Largura das saídas

A Instrução Técnica Nº 11 (IT 11) (SÃO PAULO, 2005) determina o dimensionamento tanto de vias de escoamento horizontais como verticais, utilizando a mesma equação da norma brasileira NBR 9077 e dos mesmos valores de densidade de população e de capacidade de unidade de passagem. A única diferença, no que se refere à largura das saídas é que a largura mínima está estabelecida em 1,20m correspondente a 2 unidades de saída, ao invés dos 1,10m da Norma NBR 9077. No entanto, conserva-se o valor múltiplo de 0,55m para o número de unidades de passagem superiores a dois.

Neste caso, também foi realizado, paralelamente ao dimensionamento da largura em múltiplos de N, o cálculo da largura em múltiplos de 0,5N neste estudo.

7.3.1.1 Saídas horizontais

Os valores de largura calculados para corredores e passagens de acordo com a norma brasileira NBR 9077 se mantêm na IT 11, como pode ser visto na Tabela 7.8, a menos da largura mínima, determinada em 1,20m neste caso.

Tabela 7.8 - Largura de saídas horizontais conforme a IT 11.

Lotação (pessoas)	Largura de corredores e passagens (múltiplos de N)		Lotação (pessoas)	Largura de corredores e passagens (múltiplos de 0,5N)	
	Em Unidades de passagem	Em metros		Em Unidades de passagem	Em metros
1 a 200	2	1,20	1 a 200	2,0	1,20
201 a 300	3	1,65	201 a 250	2,5	1,38
			250 a 300	3,0	1,65
301 a 400	4	2,20	301 a 350	3,5	1,93
			351 a 400	4,0	2,20

7.3.1.2 Saídas verticais

A largura para escadas e rampas (saídas verticais) também são idênticas à da norma brasileira NBR 9077, a menos da largura mínima, determinada em 1,20m neste caso (Tabela 7.9).

Tabela 7.9 – Largura de saídas verticais conforme a IT 11.

Lotação (pessoas)	Largura de escadas (múltiplos de N)		Lotação (pessoas)	Largura de escadas (múltiplos de 0,5N)	
	Em Unidades de passagem	Em metros		Em Unidades de passagem	Em metros
1 a 120	2	1,20	1 a 120	2,0	1,20
121 a 180	3	1,65	121 a 150	2,5	1,38
181 a 240	4	2,20	151 a 180	3,0	1,65
241 a 300	5	2,75	181 a 210	3,5	1,93
301 a 360	6	3,30	211 a 240	4,0	2,20
361 a 420	7	3,85	241 a 270	4,5	2,48
			271 a 300	5,0	2,75
			301 a 330	5,5	3,03
			331 a 360	6,0	3,30
			361 a 390	6,5	3,58
			391 a 420	7,0	3,85

7.3.2 Distâncias a percorrer e número mínimo de saídas

Os critérios para determinar distâncias a percorrer na IT 11, como já visto no Capítulo 5, tem leve alteração em relação à norma brasileira NBR 9077. A principal diferença está na inclusão da instalação de sistema de detecção automática de incêndio como alternativa à instalação de sistema de chuveiros automáticos. Além disso, o edifício típico de escritórios de planta livre é classificado como tipo “Z”, e não mais “Y” como na Norma, porém, deve apresentar o valor original de distância a percorrer, de 55,0m, reduzido em 30%, devido à característica de planta livre, sem leiaute fixo (Tabela 7.10). Assim, a distância máxima a percorrer admitida se reduz a 38,5m.

Tabela 7.10 – Distâncias a percorrer e número mínimo de saídas conforme a IT 11.

Tipo de Edificação	Sem chuveiros ou detectores automáticos		Com chuveiros ou detectores automáticos	
	Saída única	Mais de uma saída	Saída única	Mais de uma saída
Z	21,0m	28,0m	31,5m	38,5m

Os demais parâmetros assumidos para os edifícios de escritórios, conforme a norma brasileira NBR 9077 também valem neste caso, como a proteção por chuveiros automáticos e a medição da altura do edifício.

Em relação ao número de saídas de pavimento, existe uma diferença significativa no número mínimo de escadas para edifícios de escritórios em função da sua altura. A IT 11 determina o seguinte (vide Tabela 7.11):

Tabela 7.11 – Número mínimo e tipo de saídas verticais na IT 11.

Ocupação	Área de pavimento	Altura	Tipo de Escada ou Rampa	Número mínimo de escadas
D	$\leq 750 \text{ m}^2$	$12\text{m} < H \leq 30\text{m}$	Protegida	2
	$\geq 750 \text{ m}^2$			
	$\leq 750 \text{ m}^2$	$> 30\text{m}$	À Prova de Fumaça	
	$\geq 750 \text{ m}^2$			

Assim, todos os edifícios de escritórios com mais de 12 m de altura, independentemente de sua área de pavimento, devem ser providos de, no mínimo, duas escadas, sendo que varia o tipo de escada, em função da área de pavimento.

Adicionalmente, a IT 11 determina que a distância mínima entre as portas de acesso de diferentes escadas num mesmo pavimento deve ser de 10,0m. Tal exigência tem a finalidade de induzir a melhor distribuição física das escadas no pavimento.

7.3.3 Conclusões do processo de dimensionamento

No caso do dimensionamento das saídas conforme a IT 11, o número mínimo de saídas verticais (escadas) para edifícios de escritórios com mais de 30 m de altura é de dois e a distância máxima a percorrer de qualquer ponto do pavimento até qualquer uma das saídas deve ser de 38,5 m.

Para a lotação de pavimento de até 400 pessoas, considerada nesta análise, serão necessários, no mínimo, dois corredores de duas unidades de passagem cada, totalizando as quatro unidades de passagem exigidas para a situação.

Por outro lado, a largura mínima das escadas vai depender da lotação do pavimento.

Se a população do pavimento for de até 240 pessoas, cada uma das duas escadas deve ter, no mínimo, 2 unidades de passagem para totalizar as 4 unidades necessárias para esta lotação. Neste caso, tanto as duas saídas horizontais como duas verticais poderiam ter a largura mínima de 1,20m cada.

Porém, se a população do pavimento variar entre 301 a 360 pessoas, por exemplo, podem ser instaladas duas escadas de 3 unidades de passagem, já que se exigiria o total de 6 unidades de passagem em escadas ou, alternativamente, 3 escadas de duas unidades a serem atingidas por três corredores de duas unidades de passagem cada.

Por sua vez, se a população do pavimento variar entre 361 e 420 pessoas, podem ser instaladas três escadas, sendo duas de 2 unidades de passagem e uma de 3 unidades de passagem, já que se exigiria o total de 7 unidades de passagem em escadas.

Em qualquer uma das situações, as escadas devem ser distribuídas de tal forma que a população possa atingir qualquer uma delas após percorrer uma distância máxima de 38,5m e as portas de acesso às diferentes escadas devem estar distanciadas, no mínimo, 10,0m entre si.

7.4 Dimensionamento conforme COE

7.4.1 Largura das saídas

O COE (BOTELHO; FREITAS, 2008) determina que o dimensionamento de vias horizontais e verticais seja dimensionado com base na lotação corrigida, obtida pela equação 34, anteriormente apresentada:

$$L_c = 60 \cdot L_o \cdot Y / K \quad (\text{Equação 34})$$

Onde:

- L_c : Lotação corrigida;

- Lo: Lotação de origem;
- K: capacidade de passagem;
- Y: valor determinado pela altura do edifício; vide Equação 35, sendo Ho como definido anteriormente.

$$Y = (Ho+3) / 15 \geq 1 \quad \text{(Equação 35)}$$

Inicialmente, para obtenção da lotação corrigida é necessário ter-se o valor da lotação original. Considerando a densidade de ocupação de 7,0 m² por pessoa do COE para escritórios (vide Tabela 7.12), obtém-se 400 pessoas por pavimento como a lotação máxima por pavimento de 2800 m². Portanto, neste estudo, variou-se o valor da lotação original de 1 a 400 pessoas por pavimento para o cálculo da largura das saídas.

O valor de “K” para edifícios de escritório de planta livre seria de 100 para corredores e rampas (espaços de circulação de uso coletivo) e de 160 para escadas (espaços de circulação de uso coletivo protegidos). Porém, para corredores, foi também considerado o “K” de 250 (espaços de circulação coletiva protegida), para fim de comparação com os valores de “K” de 100.

Tabela 7.12 – Valores de densidade de ocupação e K.

Uso / Ocupação	Densidade de Ocupação	Fator K			
		Corredores e rampas		Escadas	
		Coletivo	Coletivo protegido	Coletivo	Coletivo protegido
Serviços sem acesso ao público (áreas de trabalho)	7,00 m ² por pessoa	100	250	65	160

Considerou-se uma variação de “Y” em função “Ho”, altura medida do piso de saída ao piso do último pavimento ocupado, de acordo com a Equação (3) resultando nos valores apresentados na Tabela 7.13.

Tabela 7.13 – Altura “Ho” e sua relação com “Y”, segundo COE.

Altura Ho (metros)	Y
15	1,1
30	2,2
45	3,2
60	4,2
75	5,2
90	6,2
105	7,2
120	8,2

Desta forma, com a lotação original variando de 1 a 400 pessoas, o fator “K” fixo para o caso específico e a variação no valor de “Ho” de 15m a 120m, é possível obter-se a variação da lotação corrigida “Lc”.

Uma vez obtido o valor da lotação corrigida, possibilita-se o cálculo da largura das saídas; dividindo-a pelo módulo de 30 pessoas, obtém-se o número de módulos de 0,30m que compõem a largura das saídas.

7.4.1.1 Saídas horizontais

Para cada pavimento do edifício, é necessário considerar a sua população para determinar a respectiva largura mínima de saídas horizontais. As equações (2) e (3) devem ser aplicadas, considerando a lotação do pavimento a ser analisado, porém, mantendo fixo o valor “Ho” do edifício. Neste caso, os dados de lotação corrigida (Lc) e de largura total de corredores foram obtidos, variando os valores de Ho, de 15 a 120 metros, e a população, de 1 a 400 pessoas, tanto para o valor de “K” correspondente a 100 e a 250.

Resultados para corredores coletivos simples (sem proteção)

Para corredores de uso coletivos, sem proteção especial contra incêndio, foram obtidos os dados apresentados na Figura 7.5 em relação à lotação corrigida (Lc) e na Figura 7.6, em relação à largura total de corredores (K=100).

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
 PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
ROSARIA ONO

Figura 7.5 – Relação entre lotação de origem (L_o) e lotação corrigida (L_c) em corredores ($K=100$)

Figura 7.6 – Relação entre lotação de origem (L_o) e largura total para corredores ($K=100$).

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
ROSARIA ONO

A relação entre o valor da lotação corrigida obtida segundo a Equação 34 e o valor total de largura de corredores é direta, com escalonamento a cada 0,30 m de largura para a segunda.

As faixas de larguras representadas na Figura 7.6 são apresentadas de forma detalhada na Tabela 7.14.

Tabela 7.14 – Relação entre faixas de lotação de origem e largura total de corredores (K=100).

Largura (m)	Faixa da lotação de origem em função de Ho							
	Ho=15m	Ho=30m	Ho=45m	Ho=60m	Ho=75m	Ho=90m	Ho=105m	Ho=120m
1,20	1 a 166	1 a 90	1 a 62	1 a 47	1 a 38	1 a 32	1 a 27	1 a 24
1,50	167 a 208	91 a 113	63 a 78	48 a 59	39 a 48	33 a 40	28 a 34	25 a 30
1,80	209 a 250	114 a 136	79 a 93	60 a 71	49 a 57	41 a 48	35 a 41	31 a 36
2,10	251 a 291	137 a 159	94 a 109	72 a 83	58 a 67	49 a 56	42 a 48	37 a 42
2,40	292 a 333	160 a 181	110 a 125	84 a 95	68 a 76	57 a 64	49 a 55	43 a 48
2,70	334 a 375	182 a 204	126 a 140	96 a 107	77 a 86	65 a 72	56 a 62	49 a 54
3,00	376 a 416	205 a 227	141 a 156	108 a 119	87 a 96	73 a 80	63 a 69	55 a 60
3,30		228 a 250	157 a 171	120 a 130	97 a 105	81 a 88	70 a 76	61 a 67
3,60		251 a 272	172 a 187	131 a 142	106 a 115	89 a 96	77 a 83	68 a 73
3,90		273 a 295	188 a 203	143 a 154	116 a 125	97 a 104	84 a 90	74 a 79
4,20		296 a 318	204 a 218	155 a 166	126 a 134	105 a 112	91 a 97	80 a 85
4,50		319 a 340	219 a 234	167 a 178	135 a 144	113 a 120	98 a 104	86 a 91
4,80		341 a 363	235 a 250	179 a 190	145 a 153	121 a 129	105 a 111	92 a 97
5,10		364 a 386	251 a 265	191 a 202	154 a 163	130 a 137	112 a 118	98 a 103
5,40		387 a 409	266 a 281	203 a 214	164 a 173	138 a 145	119 a 125	104 a 109
5,70			282 a 296	215 a 226	174 a 182	146 a 153	126 a 131	110 a 115
6,00			297 a 312	227 a 238	183 a 192	154 a 161	132 a 138	116 a 121
6,30			313 a 328	239 a 250	193 a 201	162 a 169	139 a 145	122 a 128
6,60			329 a 343	251 a 261	202 a 211	170 a 177	146 a 152	129 a 134
6,90			344 a 359	262 a 273	212 a 221	178 a 185	153 a 159	135 a 140
7,20			360 a 375	274 a 285	222 a 230	186 a 193	160 a 166	141 a 146
7,50			376 a 390	286 a 297	231 a 240	194 a 201	167 a 173	147 a 152
7,80			391 a 406	298 a 309	241 a 250	202 a 209	174 a 180	153 a 158
8,10				310 a 321	251 a 259	210 a 217	181 a 187	159 a 164
8,40				322 a 333	260 a 269	218 a 225	188 a 194	165 a 170
8,70				334 a 345	270 a 278	226 a 233	195 a 201	171 a 176
9,00				346 a 357	279 a 288	234 a 241	202 a 208	177 a 182
9,30				358 a 369	289 a 298	242 a 250	209 a 215	183 a 189
9,60				370 a 380	299 a 307	251 a 258	216 a 222	190 a 195
9,90				381 a 392	308 a 317	259 a 266	223 a 229	196 a 201
10,20				393 a 404	318 a 326	267 a 274	230 a 236	202 a 207
10,50					327 a 336	275 a 282	237 a 243	208 a 213
10,80					337 a 346	283 a 290	244 a 250	214 a 219
11,10					347 a 355	291 a 298	251 a 256	220 a 225
11,40					356 a 365	299 a 306	257 a 263	226 a 231
11,70					366 a 375	307 a 314	264 a 270	232 a 237
12,00					376 a 384	315 a 322	271 a 277	238 a 243
12,30					385 a 394	323 a 330	278 a 284	244 a 250
12,60					395 a 403	331 a 338	285 a 291	251 a 256

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
ROSARIA ONO

Tabela 7.14 (continuação)

Largura (m)	Faixa da lotação de origem em função de Ho							
	Ho=15m	Ho=30m	Ho=45m	Ho=60m	Ho=75m	Ho=90m	Ho=105m	Ho=120m
12,90						339 a 346	292 a 298	257 a 262
13,20						347 a 354	299 a 305	263 a 268
13,50						355 a 362	306 a 312	269 a 274
13,80						363 a 370	313 a 319	275 a 280
14,10						371 a 379	320 a 326	281 a 286
14,40						380 a 387	327 a 333	287 a 292
14,70						388 a 395	334 a 340	293 a 298
15,00						396 a 403	341 a 347	299 a 304
15,30							348 a 354	305 a 310
15,60							355 a 361	311 a 317
15,90							362 a 368	318 a 323
16,20							369 a 375	324 a 329
16,50							376 a 381	330 a 335
16,80							382 a 388	336 a 341
17,10							389 a 395	342 a 347
17,40							396 a 402	348 a 353
17,70								354 a 359
18,00								360 a 365
18,30								366 a 371
18,60								372 a 378
18,90								379 a 384
19,20								385 a 390
19,50								391 a 396
19,80								397 a 402

Desta forma, no caso de um edifício onde a lotação de todos os pavimentos é a mesma, quanto maior for a altura do último pavimento ocupado do edifício, maior será a largura total dos corredores de todos os pavimentos. Neste caso, a soma da largura dos corredores para uma população de 400 pessoas variou de 3,0 m para edifícios de 15,0 m de altura, a 10,8 m para edifícios de 120,0 m de altura.

O valor de L_c cresce significativamente, em função do aumento Y , como pode ser visto na Tabela 7.15 e a lotação corrigida se iguala à lotação de origem quando Y é igual a 1,67.

Tabela 7.15 - Relação entre "Y", lotação de origem (Lo) e lotação corrigida (Lc) para K=100.

Ho (metros)	Y	Lc (pessoas)
15	1,2	0,72 x Lo
22	1,67	1,00 x Lo
30	2,2	1,32 x Lo
45	3,2	1,92 x Lo
60	4,2	2,52 x Lo
75	5,2	3,12 x Lo
90	6,2	3,72 x Lo
105	7,2	4,32 x Lo
120	8,2	4,92 x Lo

Resultados para corredores coletivos protegidos

Para corredores de uso coletivos protegidos, foram obtidos os dados apresentados na Figura 7.7 em relação à lotação corrigida (Lc) e na Figura 7.8, em relação à largura total de corredores (K= 250). As faixas de larguras representadas na Figura 7.8 são apresentadas de forma detalhada na Tabela 7.16.

Figura 7.7 – Relação entre lotação de origem (Lo) e lotação corrigida (Lc) para corredores (K=250).

Figura 7.8 - Relação entre lotação de origem (Lo) e largura total para corredores (K=250).

É possível verificar que neste caso onde o valor de K é de 250, a faixa de variação da largura de corredores é bem menor, para os mesmos valores de Ho, de 15 a 120 m. A soma da largura dos corredores varia de 1,20 m para edifícios de 15,0 m de altura, até 8,10 m para edifícios de 120,0 m de altura.

A lotação corrigida cresce, porém, de forma bem menos acentuada que no caso de K=100, como pode ser visto na Tabela 7.17 e esta se iguala à lotação de origem somente quando $Y=4,2$.

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
ROSARIA ONO

Tabela 7.16 – Relação entre faixas de lotação de origem e largura total de corredores (K=250).

Largura (m)	Faixa da lotação de origem em função de Ho							
	Ho=15m	Ho=30m	Ho=45m	Ho=60m	Ho=75m	Ho=90m	Ho=105m	Ho=120m
1,20	1 a 416		1 a 156	1 a 119	1 a 95	1 a 80	1 a 69	1 a 60
1,50		228 a 284	157 a 195	120 a 148	96 a 120	81 a 100	70 a 86	61 a 76
1,80		285 a 340	196 a 234	149 a 178	121 a 144	101 a 120	87 a 104	77 a 91
2,10		341 a 397	235 a 273	179 a 208	145 a 168	121 a 144	105 a 121	92 a 106
2,40		398 a 454	274 a 312	209 a 238	169 a 192	145 a 161	122 a 138	107 a 121
2,70			313 a 351	239 a 267	193 a 216	162 a 181	139 a 156	122 a 137
3,00			352 a 390	268 a 297	217 a 239	182 a 201	157 a 173	138 a 152
3,30			391 a 429	298 a 327	240 a 264	202 a 221	174 a 190	153 a 167
3,60				328 a 357	265 a 288	222 a 241	191 a 208	168 a 182
3,90				358 a 386	289 a 312	242 a 262	209 a 225	183 a 198
4,20				387 a 416	313 a 336	263 a 282	226 a 243	199 a 213
4,50					337 a 360	283 a 302	244 a 260	214 a 228
4,80					361 a 384	303 a 322	261 a 277	229 a 243
5,10					385 a 408	323 a 342	278 a 295	244 a 259
5,40						343 a 362	296 a 312	260 a 274
5,70						363 a 383	313 a 329	275 a 289
6,00						384 a 403	330 a 347	290 a 304
6,30							348 a 364	305 a 320
6,60							365 a 381	321 a 335
6,90							382 a 399	336 a 350
7,20							400 a 416	351 a 365
7,50								366 a 381
7,80								382 a 396
8,10								397 a 411

Tabela 7.17 - Relação entre "Y", lotação de origem (Lo) e lotação corrigida (Lc) para K=250.

Ho (metros)	Y	Lc (pessoas)
15	1,2	0,29 x Lo
30	2,2	0,53 x Lo
45	3,2	0,77 x Lo
60	4,2	1,00 x Lo
75	5,2	1,25 x Lo
91	6,2	1,49 x Lo
105	7,2	1,73 x Lo
120	8,2	1,97 x Lo

Verifica-se uma diferença significativa na variação da largura total de corredores em função do “K” adotado. No entanto, é importante ressaltar que nos projetos típicos de edifícios de escritórios contemporâneos, de planta livre, é muito raro encontrar situações onde é possível adotar o corredor coletivo protegido, pois este tipo de corredor requer uma área fixa para sua instalação, com paredes e portas corta-fogo.

7.4.1.2 Saídas verticais

A largura das saídas verticais (escadas) que servem um edifício de múltiplos pavimentos é definida, no COE, por meio da mesma equação adotada para cálculo das saídas horizontais, considerando, igualmente à norma brasileira NBR 9077 e à IT 11, o pavimento de maior lotação.

Assumindo-se, novamente, que o edifício de escritórios não possui pavimentos atípicos, é possível fazer o cálculo da largura da escada para o pavimento-tipo.

Desta forma, os mesmos valores de “Ho”, portanto de “Y”, foram adotados para o cálculo da lotação corrigida, onde novos valores foram inseridos para o fator “K”, considerando que para edifícios de múltiplos pavimentos poder-se-ia adotar os valores de “K” da Tabela 7.12, ou seja, de 65 para escadas coletivas “abertas” e 160 para escadas coletivas protegidas.

A distinção de uso desses dois tipos de escadas depende do tipo de ocupação, altura do edifício e de sua lotação de pavimento. Assim, para edifícios de escritórios, as situações aplicáveis neste estudo são as apresentadas na Tabela 7.18 a seguir, considerando o valor mínimo de “Ho” de 12,0 m (Y=1) e máximo de 102,0 m (Y=7):

Tabela 7.18 – Número mínimo e tipo de escadas em função da altura e lotação da edificação.

Altura (Ho)	Lotação de origem (Lo)	Quantidade mínima e tipo de escadas
9,0m < Ho ≤ 36,0m	Lo ≤ 100	01 coletiva protegida com antecâmara
	Lo > 100	02 coletivas protegidas com antecâmara
Ho > 36,0m	Qualquer	02 coletivas protegidas com antecâmara

Assim, conclui-se que o valor a ser adotado para K é de 160, pois para o caso em questão só é permitida a instalação de escadas coletivas protegidas.

A Figura 7.9 apresenta os valores de lotação corrigida em relação à lotação original para o caso de saídas verticais com variação do Ho, de 15 a 120 m. A Figura 7.10, por sua vez, apresenta as larguras de escada em função da lotação de origem do pavimento e da variação de Ho.

Figura 7.9 – Relação entre lotação de origem (Lo) e lotação corrigida (Lc) em escadas.

Figura 7.10 – Relação entre lotação de origem e largura total para escadas.

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
ROSARIA ONO

A relação detalhada entre faixas de lotação de origem (Lo) e das larguras totais para escadas é apresentada na Tabela 7.19.

Tabela 7.19 – Relação entre faixas de lotação de origem e largura total de escadas protegida (K=160).

Largura (m)	Faixa da lotação de origem (Lo) em função de Ho							
	Ho=15m	Ho=30m	Ho=45m	Ho=60m	Ho=75m	Ho=90m	Ho=105m	Ho=120m
1,20	1 a 266	1 a 145	1 a 100	1 a 76	1 a 61	1 a 52	1 a 44	1 a 39
1,50	267 a 333	145 a 181	101 a 125	77 a 95	62 a 76	53 a 64	45 a 55	40 a 48
1,80	334 a 400	182 a 218	126 a 150	96 a 114	77 a 92	65 a 77	56 a 66	49 a 58
2,10		219 a 254	151 a 175	115 a 133	93 a 107	78 a 90	67 a 77	59 a 68
2,40		255 a 290	176 a 200	134 a 152	108 a 123	91 a 103	78 a 88	69 a 78
2,70		291 a 327	201 a 225	153 a 171	124 a 138	104 a 116	89 a 100	79 a 87
3,00		328 a 363	226 a 250	172 a 190	139 a 153	117 a 129	101 a 112	88 a 97
3,30		364 a 400	251 a 275	191 a 209	154 a 169	130 a 141	113 a 122	98 a 107
3,60			276 a 300	210 a 228	170 a 184	142 a 154	123 a 133	108 a 117
3,90			301 a 325	229 a 247	185 a 200	155 a 167	134 a 144	118 a 126
4,20			326 a 350	248 a 266	201 a 215	168 a 180	145 a 155	127 a 136
4,50			351 a 375	267 a 285	216 a 230	181 a 193	156 a 166	137 a 146
4,80			376 a 400	286 a 304	231 a 246	194 a 206	167 a 177	147 a 156
5,10				305 a 323	247 a 261	207 a 219	178 a 188	157 a 165
5,40				324 a 342	262 a 276	220 a 232	189 a 200	166 a 175
5,70				343 a 361	277 a 292	233 a 245	201 a 211	176 a 185
6,00				362 a 380	293 a 307	246 a 258	212 a 222	186 a 195
6,30				381 a 400	308 a 323	259 a 270	223 a 233	196 a 204
6,60					324 a 338	271 a 283	234 a 244	205 a 214
6,90					339 a 353	284 a 296	245 a 255	215 a 224
7,20					354 a 369	297 a 309	256 a 266	225 a 234
7,50					370 a 384	310 a 322	267 a 277	235 a 243
7,80					385 a 400	323 a 335	278 a 288	244 a 253
8,10						336 a 348	289 a 300	254 a 263
8,40						349 a 361	301 a 311	264 a 273
8,70						362 a 374	312 a 322	274 a 282
9,00						375 a 387	323 a 333	283 a 292
9,30						388 a 400	334 a 344	293 a 302
9,60							345 a 355	303 a 312
9,90							356 a 366	313 a 321
10,20							367 a 378	322 a 331
10,50							379 a 388	332 a 341
10,80							389 a 400	342 a 351
11,10								352 a 360
11,40								361 a 370
11,70								371 a 380
12,00								381 a 390
12,30								391 a 400

A soma da largura das escadas varia para a população de 400 pessoas, de 1,80 m para edifícios de 15,0 m de altura a 12,3 m para edifícios de 120,0 m de altura, o que

corresponderia à faixa de largura de 6 módulos a 41 módulos de 0,30 m para uma mesma população.

A relação entre lotação de origem (L_o) e lotação corrigida (L_c) para a variação de H_o é apresentada na Tabela 7.20.

Tabela 7.20 - Relação entre "Y", lotação de origem (L_o) e lotação corrigida (L_c) para $K=160$.

H_o (metros)	Y	L_c
15	1,2	0,45 x L_o
30	2,2	0,83 x L_o
37	2,67	1,00 x L_o
45	3,2	1,20 x L_o
60	4,2	1,58 x L_o
75	5,2	1,95 x L_o
91	6,2	2,32 x L_o
105	7,2	2,70 x L_o
120	8,2	3,08 x L_o

Neste caso, a lotação corrigida (L_c) se iguala à lotação original quando Y é igual a 2,67, ou seja, para edifícios com 37,0 m de altura " H_o ".

7.4.2 Distâncias a percorrer e número mínimo de saídas

No COE, a distância máxima a percorrer no pavimento de descarga é tratada de forma diferente da distância a percorrer até uma saída de pavimento que não seja o da descarga. Nesta parte da análise será considerada apenas a distância a percorrer até a saída do pavimento-tipo para a caixa de escada.

Esta distância a percorrer até uma saída de pavimento depende do tipo de proteção do corredor, além da existência ou não de proteção por sistema de chuveiros automáticos. Para a situação em análise, os valores de distância a percorrer são apresentados na Tabela 7.21.

Tabela 7.21 – Distância máxima horizontal a percorrer.

Corredor coletivo ou aberto		Corredor coletivo protegido
Sem chuveiros automáticos	Com chuveiros automáticos	
25,0m	38,0m	45,0m

No Município de São Paulo, a instalação de chuveiros automáticos em edificações é definida pela regulamentação estadual de proteção contra incêndio (SÃO PAULO, 2005) e é compulsória para edifícios de escritórios com altura superior a 30,0 m.

Desta forma, é possível dizer que para as situações contempladas para análise neste estudo, os três valores de distâncias a percorrer podem ser adotados. Isto é, para edifícios com altura entre 12,0 m e 30,0 m, corredores coletivos e sem chuveiros automáticos, a distância máxima a percorrer seria de 25,0 m. Para edifícios com altura superior a 30,0 m, haveria a obrigatoriedade da instalação de chuveiros automáticos, portanto, a distância máxima a percorrer a ser adotada seria de 38,0 m. E, caso sejam adotados corredores protegidos, a distância máxima a percorrer do ponto mais afastado até uma saída de pavimento seria de 45,0 m.

7.4.3 Conclusões do processo de dimensionamento

No caso do COE, o processo de dimensionamento não classifica os edifícios segundo sua área de pavimento, como acontece na norma brasileira NBR 9077 e na IT 11. Desta forma, consideraram-se para análise, as faixas de área de pavimento inferior e superior a 750 m², definidas na NBR 9077. Em relação à altura, a classificação adotada no COE aplicável para este caso, como já visto anteriormente, é de altura entre 9 e 36 metros ou superior a 36 m, desta forma adotou-se Ho de 30, 60 e 105 metros. Considerou-se nesta análise, para efeito de comparação, os corredores do tipo coletivo aberto (não protegido).

Para um edifício de 750 m² de área de pavimento e altura “Ho” de 30 m, a população seria de 108 pessoas por pavimento. Nestas condições, o número mínimo de escadas protegidas com antecâmara seria dois e a distância máxima a percorrer até cada

uma delas, 25 m sem chuveiros automáticos ou 38 m com chuveiros automáticos. De acordo com o cálculo da lotação corrigida, o COE exige que os corredores tenham largura total de 1,50 m (5 módulos de 0,30 m) e as escadas, 1,20 m (4 módulos de 0,30 m). Como a largura mínima de escadas é de 1,20 m, seriam necessários dois corredores e duas escadas com esta largura.

Para um edifício com uma população de 250 pessoas por pavimento (1.750 m^2) e altura “Ho” de 60 m, o número mínimo de escadas protegidas com antecâmara também seria de dois e a distância máxima a percorrer até cada uma delas, 38 m com chuveiros automáticos. De acordo com o cálculo da lotação corrigida, o COE exige que os corredores tenham largura total de 6,30 m (21 módulos de 0,30 m) e as escadas, de 4,20 m (14 módulos de 0,30 m). Para estas condições de dimensionamento, uma das possibilidades seria considerar a instalação de 3 escadas, sendo duas com 1,20 m (4 módulos de 0,30 m) e uma com 1,80 m (6 módulos de 0,30 m). Quanto aos corredores, poderiam ser considerados três corredores principais que conduziriam às escadas, com 2,10 m (7 módulos de 0,30 m) cada.

Já para um edifício com uma população de 400 pessoas por pavimento (2.800 m^2) e altura “Ho” de 105 m, a largura total de corredores seria de 17,4 m (58 módulos de 0,30 m) e a de escadas, 10,8 m (36 módulos de 0,30 m). Seriam necessárias 6 escadas com 6 módulos de largura (1,80 m) e 6 corredores que conduziriam às escadas, das quais 5 poderiam ter 10 módulos (3,00 m) e uma última, 7 módulos (2,40 m), por exemplo. A distância máxima a percorrer até uma escada deve ser de 38,0 m, com chuveiros automáticos.

É importante também lembrar que em qualquer uma das situações acima, existe a exigência do COE de se manter uma distância mínima de 10,0 m entre os pontos de acesso das diferentes escadas no mesmo pavimento.

7.5 Dimensionamento conforme NFPA 101

7.5.1 Largura das saídas

O Life Safety Code (NFPA 101) (COTÉ; HARRINGTON, 2009) determina, para edifícios de escritórios (New Business Occupancies), o dimensionamento tanto da largura de corredores (saídas horizontais) como de escadas (saídas verticais) por meio da largura incremental por população atendida, conforme mostrado na Tabela 7.22. A lotação dos pavimentos é obtida considerando-se o quociente entre a área bruta do pavimento e a densidade da ocupação.

Tabela 7.22 – Dados para cálculo da largura de saídas para edifícios de escritórios (NFPA 101).

Densidade de Ocupação (m ² por pessoa)	Escadas (largura por pessoa, em mm)	Componentes horizontais e rampas (largura por pessoa, em mm)
9,3	7,6	5

Neste caso, considerou-se uma população máxima de 400 pessoas por pavimento, seguindo os exemplos dos casos anteriores, para efeito comparativo. Assim, variou-se a largura das saídas para uma população de até 400 pessoas por pavimento.

Tanto para saídas horizontais (corredores) como verticais (escadas), os seguintes são os valores mínimos para larguras admissíveis para edifícios de escritórios:

- População servida pela saída igual ou inferior a 50 pessoas: ≥ 915 mm;
- População servida superior a 50 pessoas: ≥ 1120 mm.

7.5.1.1 Saídas horizontais

A variação da população em função do valor incremental na largura das saídas horizontais (corredores) resultou na Figura 7.11, onde foram consideradas as larguras mínimas em função da lotação. Os dados são também transcritos e apresentados por lotação, na Tabela 7.23.

Figura 7.11 – Largura do corredor em função da lotação do pavimento (NFPA 101).

Tabela 7.23 – Relação entre faixas de lotação e largura total de corredores (NFPA 101).

Largura de corredores (m)	Lotação (pessoas)
0,915	1 a 50
1,120	51 a 224
1,125	225
1,200	240
1,300	260
1,400	280
1,500	300
1,600	320
1,700	340
1,800	360
1,900	380
2,000	400

Até a população de 224 pessoas, prevalecem os valores mínimos de largura determinados no código em análise, para edifícios de uso de escritórios. A partir da lotação servida de 225 pessoas, a largura do corredor passa a ser o produto da lotação pelo valor da capacidade de saída, de 5 mm por pessoa.

7.5.1.2 Saídas verticais

A variação da população em função do valor incremental na largura das saídas verticais (escadas) resultou na Figura 7.12, onde foram consideradas as larguras mínimas em função da lotação. Os dados são também transcritos e apresentados por lotação, na Tabela 7.24, considerando os valores múltiplos de 0,30m.

Figura 7.12 - Largura das escadas em função da lotação do pavimento (NFPA 101).

A largura mínima para escadas prevalece até a lotação de 147 pessoas, considerando o valor incremental de 7,6 mm por pessoa e, a partir daí, o valor da largura é proporcional à lotação.

Tabela 7.24 - Relação entre faixas de lotação e largura total de escadas (NFPA 101).

Largura de escadas (m)	Lotação (pessoas)
1,120	1 a 147
1,201	158
1,505	198
1,801	237
2,105	277
2,402	316
2,706	356
3,002	395
3,040	400

Além disso, este código determina que para edifícios com lotação total de até 2000 pessoas, qualquer escada de emergência deve ter, no mínimo, 1,120 m de largura e para população superior a 2000 pessoas, a largura mínima é de 1,420 m. No entanto, prevalece a medida calculada pelo incremento de 7,6 mm por pessoa, caso esta resulte numa largura superior ao mínimo exigido.

7.5.2 Distâncias a percorrer e número mínimo de saídas

O número mínimo de saídas de pavimento de qualquer edifício, segundo o NFPA 101, nunca deve ser menor que dois, passando ao mínimo de três para lotação de pavimento superior a 500 pessoas e para o mínimo de quatro, para mais de 1.000 pessoas por pavimento. Neste caso considerado, portanto, o número mínimo de saídas é dois, devido à definição da lotação máxima de 400 pessoas por pavimento.

Para edifícios novos de escritórios, a distância a percorrer até as saídas pode variar de 61 a 91 metros, conforme pode ser visto na Tabela 7.25. A instalação de sistema de chuveiros automáticos, no caso deste código, é exigida para edifícios de escritórios com altura superior a 23 m, medida do piso de saída até o piso do último pavimento ocupado.

Tabela 7.25 – Distâncias a percorrer para edifícios novos de escritórios (NFPA 101).

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
Escritórios	23	30	6,1	15	61	91

Como pode ser visto na Tabela 7.25, além da distância máxima a percorrer até uma saída segura, este código determina as distâncias máximas admissíveis para o trecho desta rota de fuga em uma única direção e para o caso de instalação de corredores sem saída.

7.5.3 Conclusões do processo de dimensionamento

Realizou-se uma análise do dimensionamento segundo o código NFPA 101, adotando-se os parâmetros de dimensionamento (lotação de pavimento, altura e distância a percorrer) aplicados nos métodos dos três documentos técnicos brasileiros anteriormente apresentados.

Para um edifício com lotação de pavimento de 108 pessoas e altura de 30 m (9 pavimentos, considerando a altura de 3,6 m entre pavimentos), verificou-se que, no mínimo, dois corredores deveriam conduzir a duas escadas, todos atendendo à largura mínima de 1,120 m. Isto por que a lotação servida por corredor seria de 54 pessoas, assim como a lotação servida em cada escada.

Por sua vez, um edifício com lotação de 250 pessoas por pavimento e altura de 60 m (térreo, vazio, mais 16 pavimentos ocupados) terá pelo menos dois corredores e duas escadas que devem atender à metade da população cada. Assim, tanto as escadas como os corredores devem ter, no mínimo, 1,120 m de largura. No entanto, neste caso, devido à altura do edifício, aplica-se a verificação da largura mínima de escada para população total servida por escada. Considerando a existência de duas escadas, cada uma delas comportaria o total de 2000 pessoas (125 pessoas x 16 pavimentos). Assim, a

escada não necessitaria de largura superior à mínima exigida pelo código. Se o térreo do edifício tivesse alguma lotação ou o edifício tivesse mais pavimentos, se aplicaria a regra do ajuste da largura das escadas em função da lotação total do edifício.

Se o edifício tivesse a mesma lotação de 250 pessoas por pavimento e altura de 90 m (térreo, vazio, mais 25 pavimentos ocupados), devido à altura do edifício, aplica-se a verificação da largura mínima de escada para população total servida por escada. Considerando a existência de duas escadas, cada uma delas comportaria o total de 3125 pessoas (125 pessoas x 25 pavimentos). Exige-se, no mínimo, a largura de 1,120 m para até 2000 pessoas servidas (o que equivale à lotação dos 16 últimos pavimentos ocupados). Assim, as escadas deveriam ter largura de 1,120 m do 11º ao 26º pavimento e, do 1º pavimento (térreo) ao 10º pavimento, a largura mínima de 1,420 m, conforme pode ser visto na Figura 7.13.

Para o caso do edifício com lotação máxima de 400 pessoas e 105 m de altura (térreo, vazio, mais 29 pavimentos), os dois corredores deverão ter largura mínima de 1,120 m (200 pessoas x 5 mm < largura mínima de 1,120 m) e as escadas, de 1,520 m (200 pessoas x 7,6 mm). Neste caso, não é possível aplicar a redução de largura dada pela regra da lotação total de até 2000 pessoas, pois a largura calculada por incremento é superior à largura mínima de 1,420 m.

Em todos os três casos, o edifício deve ter instalado um sistema de chuveiros automáticos devido a sua altura e, portanto, o projeto pode contar com as distâncias a percorrer máximas permitidas pelo código.

Figura 7.13 – Exemplo de cálculo de largura de escadas para edifício alto, com lotação de 250 pessoas por pavimento.

Este código apresenta os diversos tipos de escadas que podem ser adotados para saídas de emergência que, essencialmente, são escadas externas com proteção contra exposição ao calor e chamas, escadas enclausuradas compartimentadas por paredes e portas corta-fogo com ventilação natural ou mecânica, como já visto anteriormente. Porém, o código não limita o uso de um tipo ou outro, em função da área ou altura da edificação, pois considera todas seguras, sendo sua adoção simplesmente uma questão de conveniência de projeto.

7.6 Análise Comparativa

Para efeito comparativo, os resultados do dimensionamento de saídas de emergência com base nos textos normativos considerados foram tabulados e ordenados em função de três diferentes alturas de edificação (30, 60 e 105 metros), como pode ser visto na Tabela 7.26, na Tabela 7.27 e na Tabela 7.28, respectivamente, variando-se a lotação de pavimento (108, 250 e 400 pessoas).

Tabela 7.26 – Saídas para edifício com Ho=30,0m.

Lotação por pavimento	Documento de referência	Corredor		Escada		Distância máx. a percorrer e número mínimo de saídas verticais	
		Largura total mínima	Solução de projeto	Largura total mínima	Solução de projeto	S/ Chuv. Autom.	C/Chuv. Autom.
108 pessoas	NBR 9077	1,10m	2 corredores (2 x 1,10m)	1,10m	1 escada (1 x 1,10m)	1 saída: 20m + 1 saída: 30m	1 saída: 35m +1 saída: 45m
	IT 11	1,20m	2 corredores (2 x 1,20m)	1,20m	2 escadas (2 x 1,20m)	1 saída: 21m + 1 saída: 28m	1 saída: 31,5m +1 saída: 38,5m
	COE	1,50m	2 corredores (2 x 1,20m)	1,20m	2 escadas (2 x 1,20m)	+ 1 saída: 25m	+ 1 saída: 38m
	NFPA 101	1,12m	2 corredores (2 x 1,12m)	1,12m	2 escadas (2 x 1,12m)	+ 1 saída: 61m	+ 1 saída: 91m
250 pessoas	NBR 9077	1,65m	2 corredores (2 x 1,10m)	2,75m	2 escadas (1 x 1,10m e 1 x 1,65m)	1 saída: 20m + 1 saída: 30m	1 saída: 35m +1 saída: 45m
	IT 11	1,65m	2 corredores (2 x 1,20m)	2,75m	2 escadas (1 x 1,20m e 1 x 1,65m)	1 saída: 21m + 1 saída: 28m	1 saída: 31,5m +1 saída: 38,5m
	COE	3,30m	2 corredores (2x 1,65m)	2,10m	2 escadas (2 x 1,20m)	+ 1 saída: 25m	+ 1 saída: 38m
	NFPA 101	1,25m	2 corredores (2 x 1,120m)	1,90m	2 escadas (2 x 1,12m)	+ 1 saída: 61m	+ 1 saída: 91m
400 pessoas	NBR 9077	2,20m	2 corredores (2 x 1,10m)	3,85m	3 escadas (2 x 1,10m e 1 x 1,65m)	1 saída: 20m + 1 saída: 30m	1 saída: 35m +1 saída: 45m
	IT 11	2,20m	2 corredores (2 x 1,20m)	3,85m	3 escadas (2 x 1,20m e 1 x 1,65m)	1 saída: 21m + 1 saída: 28m	1 saída: 31,5m +1 saída: 38,5m
	COE	5,40m	3 corredores (3 x 1,80m) 4 corredores (2 x 1,50m e 2 x 1,20m)	3,3m	3 escadas (3 x 1,20m) 4 escadas (4 x 1,20m)	+ 1 saída: 25m	+ 1 saída: 38m
	NFPA 101	2,00m	2 corredores (2 x 1,120m)	3,04m	2 escadas (2 x 1,52m)	+ 1 saída: 61m	+ 1 saída: 91m

Legenda: Alternativa não aplicável

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
ROSARIA ONO

Tabela 7.27 - Saídas para edifício com Ho= 60,0m.

Lotação por pavimento	Documento de referência	Corredor		Escada		Distância máx. a percorrer e número mínimo de saídas verticais	
		Largura total mínima	Solução de projeto	Largura total mínima	Solução de projeto	S/ Chuv. Autom.	C/Chuv. Autom.
108 pessoas	NBR 9077	1,10m	2 corredores (2 x 1,10m)	1,10m	1 escada (1 x 1,10m)	1 saída: 20m + 1 saída: 30m	1 saída: 35m +1 saída: 45m
	IT 11	1,20m	2 corredores (2 x 1,20m)	1,20m	2 escadas (2x 1,20m)	1 saída: 21m + 1 saída: 28m	1 saída: 31,5m +1 saída: 38,5m
	COE	3,00m	2 corredores (2 x 1,50m)	1,80m	2 escadas (2 x 1,20m)	+ 1 saída: 25m	+ 1 saída: 38m
	NFPA 101	1,12m	2 corredores (2 x 1,12m)	1,12m	2 escadas (2 x 1,12m)	+ 1 saída: 61m	+ 1 saída: 91m
250 pessoas	NBR 9077	1,65m	2 corredores (2 x 1,10m)	2,75m	2 escadas (1 x 1,10m e 1 x 1,65m)	1 saída: 20m + 1 saída: 30m	1 saída: 35m +1 saída: 45m
	IT 11	1,65m	2 corredores (2 x 1,20m)	2,75m	2 escadas (1 x 1,20m e 1 x 1,65m)	1 saída: 21m + 1 saída: 28m	1 saída: 21m +1 saída: 38,5m
	COE	6,30m	2 corredores (1 x 3,00m e 1 x 3,30m)	4,20m	2 escadas (2 x 2,10m)	+ 1 saída: 25m	+ 1 saída: 38m
			3 corredores (3 x 1,20m)		3 escadas (2 x 1,50m e 1x 1,20m)		
	NFPA 101	1,25m	2 corredores (2 x 1,12m)	1,90m	2 escadas (2 x 1,12m)	+ 1 saída: 61m	+ 1 saída: 91m
400 pessoas	NBR 9077	2,20m	2 corredores (2 x 1,10m)	3,85m	2 escadas (1 x 1,65m e 1 x 2,20m)	1 saída: 20m	1 saída: 35m
			3 corredores (3 x 1,10m)		3 escadas (2 x 1,10m e 1 x 1,65m)	+ 1 saída: 30m	+1 saída: 45m
	IT 11	2,20m	2 corredores (2 x 1,20m)	3,85m	2 escadas (1 x 1,65m e 1 x 2,20m)	1 saída: 21m	1 saída: 31,5m
			3 corredores (3 x 1,20m)		3 escadas (2 x 1,20m e 1 x 1,65m)	+ 1 saída: 28m	+1 saída: 38,5m
	COE	10,20m	4 corredores (3 x 2,40m e 1 x 3,00m)	6,30m	4 escadas (3 x 1,50m e 1 x 1,80m)	+ 1 saída: 25m	+ 1 saída: 38m
			5 corredores (4 x 2,10m e 1x 1,80m)		5 escadas (4 x 1,20m e 1 x 1,50m)		
	NFPA 101	2,00m	2 corredores (2 x 1,12m)	3,04m	2 escadas (2 x 1,52m)	+ 1 saída: 61m	+ 1 saída: 91m

Legenda:

Alternativa não aplicável

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
ROSARIA ONO

Tabela 7.28 - Saídas para edifício com Ho=105,0m.

Lotação por pavimento	Documento de referência	Corredor		Escada		Distância máx. a percorrer e número mínimo de saídas verticais	
		Largura total mínima	Solução de projeto	Largura total mínima	Solução de projeto	S/ Chuv. Autom.	C/Chuv. Autom.
108 pessoas	NBR 9077	1,10m	2 corredores (2 x 1,10m)	1,10m	1 escada (1 x 1,10m)	1 saída: 20m + 1 saída: 30m	1 saída: 35m +1 saída: 45m
	IT 11	1,20m	2 corredores (2 x 1,20m)	1,20m	2 escadas (2x 1,20m)	1 saída: 21m + 1 saída: 28m	1 saída: 31,5m +1 saída: 38,5m
	COE	4,80m	2 corredores (2 x 2,40m)	3,00m	2 escadas (2 x 1,50m)	+ 1 saída: 25m	+ 1 saída: 38m
	NFPA 101	1,12m	2 corredores (2 x 1,12m)	1,12m	2 escadas (2 x 1,12m)	+ 1 saída: 61m	+ 1 saída: 91m
250 pessoas	NBR 9077	1,65m	2 corredores (2 x 1,10m)	2,75m	2 escadas (1 x 1,10m e 1 x 1,65m)	1 saída: 20m + 1 saída: 30m	1 saída: 35m +1 saída: 45m
	IT 11	1,65m	2 corredores (2 x 1,20m)	2,75m	2 escadas (1 x 1,20m e 1 x 1,65m)	1 saída: 21m + 1 saída: 28m	1 saída: 31,5m +1 saída: 38,5m
	COE	10,80m	4 corredores (4 x 2,70m)	6,90m	4 escadas (3 x 1,80m e 1 x 1,50m)	+ 1 saída: 25m	+ 1 saída: 38m
	NFPA 101	1,25m	2 corredores (2 x 1,12m)	1,90m	2 escadas (2 x 1,42m do 1º ao 10º e 2 x 1,12 do 11º ao 26º)	+ 1 saída: 61m	+ 1 saída: 91m
400 pessoas	NBR 9077	2,20m	2 corredores (2 x 1,10m)	3,85m	3 escadas (2 x 1,10m e 1 x 1,65m)	1 saída: 20m + 1 saída: 30m	1 saída: 35m +1 saída: 45m
	IT 11	2,20m	2 corredores (2 x 1,20m)	3,85m	3 escadas (2 x 1,20m e 1 x 1,65m)	1 saída: 21m + 1 saída: 28m	1 saída: 31,5m +1 saída: 38,5m
	COE	17,40m	6 corredores (4 x 3,00m e 2 x 2,70m)	10,80m	6 escadas (6 x 1,80m)	+ 1 saída: 25m	+ 1 saída: 38m
			7 corredores (6 x 2,40m e 1 x 3,00m)		7 escadas (6 x 1,50m e 1 x 1,80m)		
	NFPA 101	2,00m	2 corredores (2 x 1,12m)	3,04m	2 escadas (2 x 1,52m)	+ 1 saída: 61m	+ 1 saída: 91m

Legenda: Alternativa não aplicável

Inicialmente, é importante lembrar que as larguras de saídas que constam nas tabelas acima são dimensões mínimas, calculadas sem considerar a geometria (planta) do pavimento. Assim, o número e/ou a largura mínima considerada podem não ser

suficientes para que as pessoas atinjam uma saída segura (escada) dentro dos limites estabelecidos pelos valores de distâncias máximas a percorrer, no caso de pavimentos de grandes dimensões e leiautes complexos.

Dito isto, verifica-se que o parâmetro de maior influência na largura dos corredores e das escadas é a lotação dos pavimentos. Já a altura da edificação é o fator determinante para a definição, junto com a lotação do pavimento (ou área de pavimento), do número mínimo de saídas de pavimento.

Existe uma diferença muito grande entre os valores de largura obtidos pelo método do COE para escadas, dos demais métodos, em função da altura da edificação. Quando o edifício tem 30m de altura, a largura total para escadas para a lotação de 400 pessoas por pavimento é praticamente a mesma pelo método do COE (3,3m) e da NFPA 101 (3,04m) e um pouco inferior ao dimensionamento realizado pela norma NBR 9077 como a IT 11 (3,85m). No entanto, quando o edifício passa a ter 60m de altura, a largura total mínima para o COE (6,3m) é o dobro da NFPA 101 (3,04m) e, para 105m de altura, esta altura é mais que o triplo (10,80m) do calculado com base na NFPA 101 (3,04m) para esta mesma lotação por pavimento. Vale notar que a largura das escadas conforme o código NFPA 101, a norma NBR 9077 e a IT 11 se mantém constante, não sofrendo variação com a altura (H_o) do edifício.

Também é possível prever que com as diferenças de valores de distâncias a percorrer determinadas nos documentos analisados, sendo a maior na NFPA 101 (até 91 m com instalação de chuveiros automáticos) e a menor, no COE (38 m para a mesma situação), o número de escadas tende a ser sempre maior no segundo caso. A norma brasileira NBR 9077 admite distâncias máximas de até 45m para a mesma condição.

Outra situação inusitada é encontrada na norma brasileira NBR 9077, que admite, para qualquer edifício de altura superior a 12m e até 750m², a provisão de uma escada de emergência, no mínimo. Esta é a situação admitida para edifícios com 30m, 60m ou 105m e população de 108 pessoas deste estudo. Os demais documentos

técnicos considerados determinam o mínimo de duas saídas de pavimento para todos os casos apresentados nas tabelas.

O COE determina, como já comentado anteriormente, larguras muito maiores para corredores, também em função da altura “Ho” do edifício, comparado aos métodos de dimensionamento dos demais documentos analisados. Os valores apresentados nas tabelas são ainda maiores para corredores pelo COE, pois foram admitidos corredores abertos (sem proteção), entendendo-se que esta é a realidade para projetos de edifícios altos de escritórios de “planta livre”.

Os casos estudados neste capítulo mostram o impacto nas soluções de projeto dos métodos de dimensionamento apresentados nos textos normativos /legislativos nacionais. Destaca-se que, em várias situações, que podem ser tidas como corriqueiras, as soluções obtidas são muito distintas entre si.

Observadas essas diferenças nos resultados, passa a ser necessário verificar a efetividade desses métodos prescritivos de dimensionamento, considerando a importância do bom desempenho das saídas de emergência para garantir a segurança dos ocupantes das edificações. Os estudos apresentados no próximo capítulo têm como objetivo a obtenção de dados que possibilitem instrumentar esta pesquisa no sentido de permitir uma análise crítica sobre os métodos de dimensionamento prescritivos e sua adequação no projeto de saídas de emergência para edifícios altos de escritórios.

8 AVALIAÇÃO DA ADEQUAÇÃO DE PARÂMETROS DE PROJETO POR MEIO DA APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

O uso de modelos computacionais para pesquisa na área de segurança contra incêndio pela autora desta tese se iniciou em 1993, com o treinamento no uso de modelos japoneses introduzidos por ocasião do projeto de cooperação técnica entre o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) e o governo japonês, por meio do Japan International Cooperation Agency (JICA). Os modelos eram os seguintes: “BRI2” – modelo de zona para simulação de movimentação de fumaça em edificações e o “EVACS” – modelo de evacuação, ambos desenvolvidos pelo *Building Research Institute*, órgão de pesquisa diretamente subordinado ao Ministério das Construções do Japão.

Após realização do treinamento, a capacitação técnica teve prosseguimento, com a coordenação de um projeto denominado “Implantação de Modelos Computacionais de Simulação de Movimento de fumaça e de Evacuação em Edificações” na Divisão de Engenharia Civil do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), em 1994. Nesta época, os modelos ainda eram pouco amigáveis, sem uma interface que facilitasse tanto a entrada dos dados como a leitura e interpretação dos resultados.

Uma década após esta primeira experiência com modelos, surgiu a oportunidade de utilizar novamente um modelo para aprofundar os estudos de evacuação, modelo este denominado *buildingExodus* (GALEA et. al., 2004), desenvolvido e comercializado por um grupo de pesquisa da Universidade de Greenwich, do Reino Unido, cujo acesso tem sido viabilizado pela cessão da licença de uso pelo Centro Brasileiro de Construção em Aço/ Instituto Brasileiro de Siderurgia (CBCA/ IBS), desde então.

A utilização desta ferramenta ao longo destes anos, para análise dos fenômenos que ocorrem durante o movimento de abandono e os tempos de abandono parciais e totais foi muito importante, permitindo várias reflexões sobre os métodos de

dimensionamento prescritivos de saídas de emergência (GILL; VALENTIM; ONO, 2006 e VALENTIM; ONO, 2006) e sua compatibilidade com os movimentos reais e virtuais de evacuação (OMINE, 2006; VALENTIN, 2008; ONO; VALENTIN, 2009 e SENA, 2009).

A experiência de uso do *buildingExodus*, assim como os principais resultados obtidos em simulações utilizando este modelo são apresentadas na primeira parte deste capítulo, com o objetivo de se destacar as questões discutidas ao longo do desenvolvimento desta pesquisa e o seu amadurecimento. Em seguida, prossegue-se com as considerações sobre o segundo modelo utilizado para o prosseguimento da pesquisa, que é o FDS+Evac (KORHONEN; HOSTIKKA, 2009) desenvolvido e mantido atualmente pelo Centro de Pesquisas Técnicas da Finlândia (VTT Technical Research Centre of Finland) em parceria com o National Institute of Standards and Technology (NIST) do Departamento de Comércio dos EUA.

8.1 Simulações com o buildingExodus

Os estudos de avaliação de saídas de emergência por meio de simulações computacionais em edifícios desenvolvidos nos últimos anos utilizando o *buildingExodus* tiveram como objetivo conhecer e dominar o uso do modelo, compreender sua potencialidade e suas limitações, assim como gerar dados que permitissem uma avaliação crítica dos critérios de dimensionamento de saídas de emergência para alguns casos específicos, como um edifício de grande área de pavimento (OMINE, 2006); edifícios escolares de múltiplos pavimentos (VALENTIN, 2008 e ONO; VALENTIN, 2009) e edifícios altos de escritórios (SENA, 2009).

8.1.1 Descrição do programa

O *buildingExodus* é um modelo estruturado para aplicação em ambientes construídos e compatíveis com uma grande variedade de tipos de ocupação, podendo ser utilizado tanto para verificar o atendimento às regulamentações, como para avaliar a capacidade de evacuação das edificações e investigar a eficiência da movimentação de uma população no interior de edifícios.

O aplicativo considera a interação pessoa-pessoa, pessoa-incêndio e pessoa-edifício e determina a trajetória de cada indivíduo no seu movimento de saída do compartimento e do edifício. A interação pessoa-incêndio é realizada com a importação de dados do incêndio e os produtos da combustão de modelos de simulação de incêndio. O modelo tem uma interface amigável para o usuário, apresentando os menus e as telas no formato de janelas.

8.1.1.1 Dados de entrada

A geometria dos compartimentos pode ser elaborada por meio do próprio aplicativo ou também é possível importar um arquivo no formato DXF. Os espaços internos dos compartimentos são subdivididos em uma malha formada por uma dimensão mínima de 0,5m x 0,5m (nó) que são interligados entre si (vide Figura 8.1) por “arcos”. Cada nó representa um espaço ocupado ou a ser ocupado por um único indivíduo. A geometria pode ser expandida para múltiplos pavimentos e escadas.

Figura 8.1 – Representação gráfica dos nós e arcos.

O modelo permite várias formas de introdução do perfil dos indivíduos, sendo possível:

- Adoção de um perfil único para toda a população;
- Geração randômica do perfil dos indivíduos dentro de uma faixa de atributos pré-estabelecida ou;
- Definição manual do perfil de cada indivíduo pelo usuário.
- A faixa de atributos do modelo é apresentada na Tabela 8.1.

Tabela 8.1 – Faixa de atributos para gerar o perfil dos indivíduos de forma randômica

Atributo	Faixa de valores
Gênero	Masculino, Feminino
Idade	20 a 60 anos
Peso	50 a 85 kg
Altura	154 a 183cm
Tempo de resposta	0,0 a 30,0s
Mobilidade	1,0 (100%)
Agilidade	3 a 7
Velocidade de deslocamento rápido	0,8 a 1,5 m/s
Velocidade de caminhada	90% da velocidade de deslocamento rápido
Velocidade de ultrapassagem sobre fileira de assentos	80% da velocidade de deslocamento rápido
Velocidade ao rastejar	20% da velocidade de deslocamento rápido

Fonte: University of Greenwich (2004, pg.5.4), adaptada pela autora desta tese.

Adicionalmente, a velocidade de deslocamento em escadas é dada na Tabela 8.2, cuja fonte primária é Fruin (1987).

Tabela 8.2 – Taxa de caminhada em escadas derivadas de Fruin (1987)

Gênero	Idade (anos)	Velocidade descendente (m/s)	Velocidade ascendente (m/s)
Masculino	< 30	1,01	0,67
Feminino		0,755	0,635
Masculino	30-50	0,86	0,63
Feminino		0,665	0,59
Masculino	>50	0,67	0,51
Feminino		0,595	0,485

8.1.1.2 Estrutura em submodelos

O comportamento e o movimento de cada indivíduo são determinados por um conjunto heurístico (utilizando a razão e as experiências passadas) e de regras categorizadas em cinco submodelos de interação, a saber: Ocupante, Movimento,

Comportamento, Perigo e Toxicidade. Estes submodelos interagem num espaço definido pela geometria do compartimento (vide Figura 8.2).

Figura 8.2 – Interação entre submodelos e geometria.

O submodelo do Ocupante determina o perfil dos indivíduos com base numa coleção de atributos e variáveis, como gênero, idade, velocidade de deslocamento, tempo de reação, mobilidade, etc. Alguns dos atributos são permanentes ao longo da simulação e outros são dinâmicos e se alteram com a interação com os outros submodelos.

O submodelo do Movimento controla o deslocamento físico de cada indivíduo de uma posição para a próxima e mais adequada, ou supervisiona o período de espera, quando não há movimento. O deslocamento pode envolver comportamentos como a ultrapassagem, o salto para o lado e outras ações evasivas.

O submodelo do Comportamento determina a reação de cada indivíduo para a situação existente, com base nos atributos pessoais designados e passa as decisões para o submodelo de Movimento.

O submodelo do Perigo controla o ambiente atmosférico e físico, distribuindo os componentes perigosos do incêndio como o calor, a fumaça e os produtos tóxicos na atmosfera e controlando a abertura e o fechamento das saídas (obstruções que podem ser causadas pelos componentes do incêndio).

O submodelo da Toxicidade determina os efeitos dos produtos tóxicos nos indivíduos e os comunica ao submodelo de Comportamento.

8.1.1.3 A saída de dados

É possível visualizar, em planta, o movimento de saída no monitor do computador (vide Figura 8.3), porém, para auxiliar na interpretação dos resultados produzidos pelo modelo, existem outras ferramentas como o *askExodus*, para obter dados completos e detalhados dos resultados e o *vrExodus*, que processa os resultados e oferece uma reprodução em realidade virtual tridimensional animada.

Figura 8.3 – Exemplo de visualização do modelo em simulação.

8.1.1.4 Limitações do modelo

O modelo adota, para algumas situações, padrões pré-estabelecidos, que não podem ser alterados e que, de certa maneira, influenciam no resultado das simulações.

Um desses padrões é a dimensão da malha. Os autores do modelo dizem ser possível a alteração das dimensões da malha, de 0,5m x 0,5m, porém, não a

recomendam. A largura de 0,50m para as pessoas é um limitador do modelo, uma vez que não há possibilidade de acomodação de pessoas com diferentes dimensões numa mesma malha. Isto pode influenciar no fluxo, pois pessoas de dimensões diferentes ocupam maior ou menor espaço nos corredores e escadas. Este modelo não possibilita considerar tal hipótese.

Para as escadas, o modelo fixa a largura mínima do módulo de uma pessoa em 0,76m, portanto, configurando uma malha de 0,76m x 0,50m.

Além disso, o modelo admite um fluxo máximo de passagem por portas de 1,33 pessoas/(s.m), independentemente das condições de densidade populacional na sua aproximação. Isto acaba por condicionar o movimento e, conseqüentemente, o tempo de abandono, não permitindo verificar se existe uma variabilidade no fluxo na passagem que pode influenciar no tempo final, em função da largura da porta.

O modelo não possui, no seu banco de dados, o perfil antropométrico e de velocidade de crianças, apesar de permitir que se importem dados de fontes externas. Os atributos dos ocupantes do modelo são aqueles apresentados na Tabela 8.1.

O modelo atual também não inclui a possibilidade de simulação de abandono por meio de rampas ou de elevadores, que necessitariam de configuração de geometria especial.

8.1.2 Simulações realizadas

8.1.2.1 Dados do espaço

As simulações foram realizadas para uma configuração espacial hipotética, com uma população de perfil e densidade típica de escritórios, segundo parâmetros das regulamentações em questão. As características básicas simuladas são apresentadas a seguir, na Tabela 8.3.

Tabela 8.3 – Principais características do espaço simulado.

Características	Dados
Uso	Escritórios
Numero de pavimentos	10 pavimentos: térreo (piso de descarga) + 9 pavimentos-tipo
Área do pavimento-tipo para cálculo da população	875 m ² (aprox.40 x 22m; planta livre)
Densidade ocupacional	7,00 m ² /pessoa
População do pavimento	125 pessoas
População total do edifício	1125 pessoas
Altura de piso a piso	3,60m
Altura o piso de descarga até o último piso superior ocupado	32,40m
Largura da porta de acesso à escada	1,0m (2 módulos de 0,50m)

Inicialmente, realizou-se uma série de simulações para verificar o tempo de abandono de um pavimento, por uma porta de saída de 1,0m, a fim de se obter valores de referência para avaliar a sua influência no tempo de abandono do edifício de múltiplos pavimentos.

Em seguida, para este mesmo espaço foi realizada uma série de simulações para verificar a influência da variação da largura da escada no tempo de abandono total e simultâneo. Adotou-se a variação de um a três módulos de largura de malha de escada, ou seja, as larguras de 0,76m; 1,52m e 2,28m.

O módulo de 0,76m de largura para escadas é especificado pelo modelo em função dos estudos já reconhecidos que confirmam que as pessoas ocupam espaço superior aos 0,55m (uma unidade de passagem da norma NBR 9077) no movimento de descida. Desta forma, admite-se, neste modelo, que a largura mínima de 1,10m (duas unidades de passagem da norma NBR 9077) ou 1,20m (largura mínima do COE) de escada, definida em regulamentações e textos normativos, só será ocupada, no modelo, por uma pessoa por vez; a largura de 1,65m ou 1,80m, por duas pessoas; e a largura de 2,10m ou 2,40m, por três pessoas.

8.1.2.2 Dados de entrada do buildingExodus

Os principais dados de entrada do espaço introduzidos no buildingExodus foram apresentados na Tabela 8.3. Já em relação às características da população, foram inseridos os dados de *default*, dentro daqueles estabelecidos pelo programa e apresentados também previamente na Tabela 8.1, de forma randômica (aleatória).

Para cada repetição da mesma situação, a população foi distribuída aleatoriamente, porém mantendo o número calculado de 125 pessoas para cada pavimento. Foram realizadas 5 repetições de cada situação.

8.1.3 Análise dos resultados

Em todas as simulações, obteve-se o tempo para abandono do espaço ocupado em cada pavimento, o tempo para abandono de toda população pela escada, assim como os tempos parciais de descida, a fim de verificar possíveis pontos de congestionamento.

Os resultados médios das simulações de abandono de um pavimento com lotação de 125 pessoas, por meio de uma porta de 1,0m de largura são apresentados na Tabela 8.4 e na Figura 8.4. É possível verificar que o abandono para uma área livre, desobstruída, se dá num tempo relativamente curto. Em todas as cinco repetições da mesma situação, a primeira a deixar o ambiente o fez 8 s após o início da simulação. O tempo médio para abandono total e simultâneo foi de 104 s.

Tabela 8.4 – Tempos para abandono de um pavimento por uma porta de 1,0m de largura.

População inicial (pessoas)	Tempo para o primeiro ocupante sair do pavimento (s)		Tempo para o último ocupante sair do pavimento (s)		Intervalo de tempo entre a saída do primeiro e do último ocupante (s)		Fluxo médio de abandono (pessoas por minuto)	
	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	média	desvio-padrão	Média	desvio-padrão
125	8	0	112	1	104	1	72	0,97

Figura 8.4 – Tempo médio para saída de 125 pessoas de um compartimento por uma porta de 1,0m de largura.

Verifica-se que o movimento é praticamente constante ao longo do tempo, constituindo uma reta quase que em toda a extensão de tempo do abandono, sendo os desvios-padrão dos tempos de baixo valor, também demonstrando a pouca variação entre as repetições da mesma condição de simulação.

A Tabela 8.5 e a Figura 8.6 resumem os resultados (valores médios) das simulações para os dez pavimentos interligados por escada de 0,76m de largura. Na Tabela 8.5 verifica-se o tempo de abandono dos ambientes de cada pavimento por uma abertura de 1,0m com acesso à escada.

Ao comparar esta situação com a do abandono para uma área livre, observa-se que a escada é um limitador ao tempo de saída nos pavimentos; o tempo para abandono do pavimento aumenta e o fluxo médio cai vertiginosamente.

Tabela 8.5 – Tempos para abandono dos ambientes nos pavimentos para escada de 0,76m de largura.

Espaço	População inicial (pessoas)	Tempo para o primeiro ocupante sair do pavimento (s)		Tempo para o último ocupante sair do pavimento (s)		Intervalo de tempo entre a saída do primeiro e do último ocupante (s)		Fluxo médio de abandono (pessoas por minuto)	
		Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão
10º pavimento	125	3	0	1287	14	1284	14	5,8	0,0
9º pavimento	125	7	0	1247	31	1240	31	6,0	0,1
8º pavimento	125	5	0	1138	34	1133	34	6,6	0,2
7º pavimento	125	5	0	977	58	972	58	7,7	0,4
6º pavimento	125	8	0	863	2	855	16	8,8	0,2
5º pavimento	125	6	0	675	34	669	34	11,2	0,5
4º pavimento	125	5	0	581	25	576	25	13,0	0,6
3º pavimento	125	6	0	408	23	402	23	18,7	1,1
2º pavimento	125	6	0	297	41	291	41	26,2	4,0
1º pavimento (térreo)	0 (1125)	22	0	1496	9	1474	9	45,8	0,3

O tempo médio para abandono total do edifício, por uma escada de 0,76m de largura, foi de 1496 segundos (24,93 minutos). É possível verificar que os ocupantes dos pavimentos superiores levaram mais tempo para deixar o ambiente e adentrar à escada, devido à rápida ocupação da mesma por ocupantes dos pavimentos inferiores (vide Figura 8.5). Assim, o fluxo médio de saída do pavimento aumenta na proporção inversa ao tempo do abandono do pavimento.

Figura 8.5 – Tempos médios de abandono de cada pavimento para escada de 0,76m de largura.

A Figura 8.6 apresenta o número de pessoas que passa no patamar da escada a cada pavimento ao longo do tempo, antes da contribuição da população do pavimento correspondente.

É possível observar que o fluxo de pessoas é praticamente constante no patamar de chegada do 1º pavimento. Porém, nos demais pavimentos, há períodos de tempo onde não há movimento de pessoas, reflexo do congestionamento no interior da escada.

A Figura 8.7 apresenta uma representação do modelo para um dos pavimentos em simulação, em planta, com a área do pavimento, a escada e os sujeitos (ocupantes) do pavimento se dirigindo e se acumulando no acesso à escada.

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
ROSARIA ONO

Figura 8.6 – Tempo para passagem dos ocupantes entre patamares da escada nos pavimentos, para escada de 0,76m de largura.

Figura 8.7 – Representação em planta do ambiente e da escada de um pavimento, durante o movimento de abandono.

Na Figura 8.8 é apresentada uma vista em detalhe da região da porta do ambiente representado na Figura 8.7, onde é possível distinguir a representação das distintas características dos sujeitos (marcadas com cores distintas) aglomerados no acesso à escada.

Figura 8.8 – Aglomeração dos sujeitos junto ao acesso à escada de 0,76m de largura.

A Tabela 8.6, por sua vez, resume os resultados (valores médios) das simulações para os espaços interligados por escada de 1,52m de largura.

O tempo médio para abandono total do edifício com escada de 1,52m de largura é de 1342 segundos (22,36 minutos), portanto, a redução não é tão significativa, considerando-se que a largura da escada dobrou. Ainda que se verifique uma melhora no tempo de abandono dos últimos pavimentos (Figura 8.9), percebe-se que o congestionamento se concentra nos pavimentos imediatamente inferiores (Figura 8.10), sinalizando para a insuficiência da largura da escada para escoamento eficiente da população do edifício de forma simultânea.

**Tabela 8.6 – Tempos médios para abandono dos ambientes nos pavimentos
para escada de 1,52m de largura.**

Espaço	População inicial (pessoas)	Tempo para o primeiro ocupante sair do pavimento (s)		Tempo para o último ocupante sair do pavimento (s)		Intervalo de tempo entre a saída do primeiro e do último ocupante (s)		Fluxo médio de abandono (pessoas por minuto)	
		Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão
10º pavimento	125	12	0	241	26	228	26	33,1	3,6
9º pavimento	125	5	0	898	66	893	66	8,4	0,2
8º pavimento	125	5	0	1142	39	1137	39	6,6	0,2
7º pavimento	125	5	0	1087	60	1082	60	6,9	0,4
6º pavimento	125	5	0	1044	59	1039	59	7,2	0,4
5º pavimento	125	6	0	837	97	831	97	9,1	1,0
4º pavimento	125	4	0	726	127	721	127	10,6	1,8
3º pavimento	125	4	0	611	112	607	112	12,7	2,4
2º pavimento	125	6	0	465	84	459	84	16,8	3,0
1º pavimento (térreo)	0 (1125)	21	0	1342	33	1321	1,3	51,1	33,2

Figura 8.9 – Tempos médios de abandono de cada pavimento para escada de 1,52m de largura.

Figura 8.10 - Tempo para passagem dos ocupantes entre patamares da escada nos pavimentos para escada de 1,52m de largura.

A Tabela 8.7 resume os resultados para a escada de 2,28m de largura, onde o tempo médio de abandono tem redução sensível (Figura 8.11), se comparado aos casos anteriores, atingindo 866 segundos (14,43 minutos).

Na Figura 8.12 é possível verificar uma diminuição notável no tempo dos congestionamentos no interior da escada, tendo como consequência o aumento significativo no fluxo de pessoas.

Tabela 8.7 – Tempos para abandono dos ambientes nos pavimentos para escada de 2,28m de largura.

Espaço	População inicial (pessoas)	Tempo para o primeiro ocupante sair do pavimento (s)		Tempo para o último ocupante sair do pavimento (s)		Intervalo de tempo entre a saída do primeiro e do último ocupante (s)		Fluxo médio de abandono (pessoas por minuto)	
		Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão
10º pavimento	125	12	0	113	1	101	1	74,1	0,7
9º pavimento	125	5	0	406	46	401	46	18,9	2,3
8º pavimento	125	5	0	337	43	332	43	22,9	2,9
7º pavimento	125	5	0	306	48	301	48	25,5	4,5
6º pavimento	125	5	0	293	51	288	51	26,8	5,3
5º pavimento	125	6	0	212	49	206	49	38,2	9,6
4º pavimento	125	4	0	227	19	223	19	33,8	2,9
3º pavimento	125	5	0	200	19	195	18	38,8	4,1
2º pavimento	125	6	0	140	5	134	5	56,0	2,2
1º pavimento (térreo)	0 (1125)	23	0	886	8	863	8	78,2	0,7

Figura 8.11 – Tempos médios de abandono de cada pavimento para escada de 2,28m de largura.

Figura 8.12 - Tempo para passagem dos ocupantes entre patamares da escada nos pavimentos para escada de 2,28m de largura.

8.1.4 Conclusões prévias

As simulações permitem confirmar que o grande limitador do fluxo de saída das pessoas neste edifício de múltiplos pavimentos é o tipo da estratégia de abandono previsto, de uso simultâneo da escada por toda população.

Os resultados do modelo utilizado também mostram que o tempo de abandono não diminui numa relação inversamente proporcional ao aumento da largura da escada; tal situação não justificaria, portanto, alguns dos parâmetros de dimensionamento adotados em textos normativos e regulamentações.

Verificou-se, também, ao longo dos estudos com o modelo buildingExodus, os benefícios e as limitações trazidos pela conformação da malha de 0,5mx0,5m no plano horizontal e de 0,76m x 0,5m nas escadas. O principal problema encontrado foi a compatibilização do encontro entre as duas malhas, nos patamares das escadas. Por outro lado, uma grande vantagem deste modelo está justamente na simplificação

trazida pelas grandes malhas que reduzem sensivelmente o tempo de simulação, além da interface amigável para inserção dos dados de entrada.

Possivelmente, esta simplificação da malha deve acarretar em resultados mais conservadores em termos de tempos de abandono.

8.2 Simulações com o modelo FDS+Evac

O FDS+Evac (KORHONEN E HOSTIKKA, 2009) foi desenvolvido e é mantido atualmente pelo Centro de Pesquisas Técnicas da Finlândia (VTT Technical Research Centre of Finland). Uma contribuição substancial para a implementação do cálculo de evacuação como um módulo do Fire Dynamics Simulator (FDS) foi dada pela Divisão de Pesquisa de Incêndio (Fire Research Division) do Laboratório de Pesquisa de Edifícios e Incêndio (Building and Fire Research Laboratory – BFRL) do Instituto Nacional de Padronização e Tecnologia (National Institute of Standards and Technology – NIST) dos EUA.

8.2.1 Descrição do FDS+Evac

O modelo de simulação computacional *FDS+Evac* compõe o módulo de evacuação do modelo computacional de incêndio denominado *Fire Dynamics Simulator* (FDS) (MCGRATTAN; MCDERMOTT; HOSTIKKA; FLOYD, 2010). Ambos os modelos estão disponibilizados, de forma já integrada, na internet e são aplicativos de uso livre e gratuito. O *FDS* utiliza um modelo de campo para simulação do desenvolvimento do incêndio e comportamento dos produtos da combustão (calor, fumaça e gases). Assim, o *Evac*, também se baseia nos conceitos dos modelos de campo, ou seja, considera, inicialmente, o comportamento de cada pessoa como o de uma partícula de fluido seguindo um escoamento principal. Porém, o *Evac* pode ser utilizado de forma independente, apenas para simular o abandono de uma população de um local, sem considerar os efeitos do incêndio sobre os ocupantes.

8.2.2 Desenvolvimento do Aplicativo

Neste modelo, cada ocupante é considerado como um “indivíduo”, com características físicas particulares e estratégias próprias de evacuação. O movimento dos “indivíduos” é simulado utilizando um plano bidimensional que representa os pisos dos edifícios. O algoritmo básico do movimento de evacuação é resolvido 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 nos indivíduos são de natureza física, como de contato e da gravidade, e de natureza psicológica, dadas pelas condições ambientais (por exemplo, “reduzir a velocidade devido à presença de fumaça”) e pela interação com outros indivíduos (por exemplo, “mover-se após a chegada de outro indivíduo”).

Adota-se uma malha para compor a geometria do compartimento e os indivíduos têm o seu eixo de movimentação, centrado na cabeça, sobre esta malha. As propriedades físicas atribuídas a cada indivíduo (larguras e velocidade) são distribuídas de forma aleatória pelo modelo entre os membros da população considerada. Cada indivíduo é representado por três círculos sobrepostos, em vista superior, simulando a forma humana (vide Figura 8.13). As dimensões do corpo e as velocidades de caminhada livre da população, por tipo, adotadas pelo modelo são apresentadas na Tabela 8.8, onde $d_s = R_d - R_s$. Os ocupantes de um determinado espaço são distribuídos também aleatoriamente por ele. Um grande domínio computacional pode ser subdividido livremente em espaços menores e cada um desses espaços pode receber vários conjuntos de populações diferentes. O usuário do programa pode alterar as propriedades apresentadas na Tabela 8.8, criando a sua própria população ou condição de movimento.

Figura 8.13 – Vista superior do indivíduo.
 (Fonte: Korhonen e Hostikka, 2009, pg. 19).

Tabela 8.8 – Dimensões do corpo e velocidades de caminhada livre do FDS+Evac.

Tipo	R_d (m)	R_t/R_d	R_s/R_d	d_s/R_d	Velocidade (m/s)
Adulto (média)	0,255±0,035	0,5882	0,3725	0,6275	1,25±0,30
Homem	0,270±0,020	0,5926	0,3704	0,6296	1,35±0,20
Mulher	0,240±0,020	0,5833	0,3750	0,6250	1,15±0,20
Criança	0,210±0,015	0,5714	0,3333	0,6667	0,90±0,30
Idoso	0,250±0,020	0,6000	0,3600	0,6400	0,80±0,30

(Fonte: Korhonen e Hostikka, 2009, pg. 19)

O *FDS+Evac* se utiliza de características estocásticas para determinar as propriedades dos indivíduos e as dimensões do seu corpo assim como as velocidades de caminhada, definidas pela distribuição normal, por “default”, dentro das faixas apresentadas na Tabela 8.8.

Desta forma, cada simulação apresenta resultados diferentes, sendo recomendada, em seu manula, a repetição em pelo menos 12 vezes, para verificar a sua faixa de variação. O modelo *FDS+Evac* utiliza o programa de visualização tridimensional do *FDS* denominado *Smokeview* (FORNEY, 2010), que permite a verificação da movimentação das pessoas ao longo do tempo.

8.2.2.1 Entrada de dados

Todos os parâmetros de entrada para o módulo de evacuação para descrever um dado cenário são definidos por meio de arquivo de texto, que é o mesmo utilizado para o FDS e deve ser criado pelo usuário do modelo.

8.2.2.2 Resultados de saída do programa

O programa computa a posição, a velocidade e a dosagem de gases tóxicos em cada indivíduo dentro da malha, a cada intervalo de tempo. O movimento dos indivíduos pode ser visualizado por meio do programa *Smokeyview*. O número de indivíduos que passa pelos diferentes espaços do cenário proposto, assim como o número de indivíduos em diferentes posições (nós) da malha são registrados num arquivo-texto simples, que pode ser lido por meio de um programa de planilhas. Alguns dados adicionais e mais detalhados dos indivíduos são apresentados no arquivo-texto do resultado da evacuação, incluindo posição inicial e propriedades (características) de cada um.

8.2.2.3 Limitações do modelo

Apesar de o programa FDS permitir a inserção de elementos geométricos, como buracos e obstáculos, em função do tempo, que podem ser criados e removidos, a geometria do modo de evacuação não suporta elementos geométricos temporais. Assim, a geometria estabelecida inicialmente deve ser mantida durante todo o tempo de simulação, mas é permitido ao usuário inserir informações como a possibilidade de uso de portas (porta aberta ou fechada), ao longo do tempo, no algoritmo de seleção de portas.

O número de indivíduos que pode ser inserido sobre uma malha é limitado a 10.000, considerando que uma malha corresponde a um piso. Porém, várias malhas podem coexistir, simultaneamente, onde cada uma delas representa os diferentes pisos e, neste caso, não há restrição do total de indivíduos, desde que respeitada a população máxima por malha.

A densidade inicial de indivíduos na malha não pode exceder 4 pessoas por metro quadrado. Nos casos de densidades altas, a simulação pode requerer várias tentativas de inicialização, pois mensagens de erro vão surgir devido à posição inadequada assumida pelos indivíduos randomicamente.

O módulo de simulação de evacuação é estocástico (probabilístico), portanto, se utiliza de números aleatórios para gerar a posição inicial e as propriedades (características) dos indivíduos. Além disso, há uma pequena força aleatória na equação de movimento de cada indivíduo. Assim, os resultados obtidos não são os mesmos para várias simulações geradas pelo mesmo arquivo de entrada, se a simulação for repetida várias vezes. Por isso, é recomendado que se realize uma bateria de uma dúzia ou mais simulações para verificar a variação nos resultados.

A eficiência do FDS está na simplicidade de sua malha numérica retilínea. Assim, isto pode ser uma limitação para algumas situações onde certos aspectos geométricos não se adequam à malha retangular. As malhas numéricas utilizadas pelo algoritmo de movimentação dos indivíduos são um recorte bidimensional na malha do FDS para incêndio, assim possuem também essa limitação. A versão atual do módulo de evacuação aceita a inserção de planos inclinados, como escadas largas e arquibancadas, que são deslocamentos nos eixos x e y dentro de uma malha retangular. O tamanho da malha determina o nível de refinamento da geometria do edifício que pode ser modelado pelo programa e, por exemplo, o valor da largura das portas deve ser múltiplo da malha adotada.

O algoritmo de seleção das saídas pelos indivíduos não inclui nenhum tipo de interação social, como uma liderança de grupo. O usuário tem controle sobre as portas que os diferentes indivíduos devem utilizar para a evacuação. Isto pode ser considerado uma vantagem do modelo, porém também requer maior responsabilidade e expertise do usuário na sua utilização.

O tempo de pré-movimento dos indivíduos é decidido pelo usuário, com a introdução de tempos de detecção e reação ao alarme. Adicionalmente, a concentração

de fumaça no local também pode ser utilizada para iniciar o movimento. Atualmente, os detectores de calor ou fumaça do FDS não podem ser utilizados para acionar o movimento de abandono dos indivíduos.

O módulo de evacuação não possui, atualmente, a possibilidade de utilização de elevadores. Nem há objetos específicos para aplicação do mesmo para embarcações marítimas. A simulação de salas de concerto e de ginásios esportivos / estádios pode ser dificultada pelas limitações da malha computacional reticulada.

A versão do FDS+Evac utilizada neste estudo suporta cálculos paralelos apenas para as malhas de incêndio; as malhas de evacuação são tratadas como um conjunto único. Assim, não é possível dividir o cálculo de evacuação em diferentes processadores, utilizando versão paralela do FDS. Tal situação acaba por limitar a complexidade da geometria que pode ser modelada, condicionada à capacidade de memória RAM do computador utilizado.

8.2.3 Procedimentos para avaliação dos parâmetros

Para cada componente das saídas de emergência, realizou-se uma série de simulações com o intuito de aferir os valores adotados como parâmetro para dimensionamento de saídas de emergência nas normas e regulamentações consideradas neste estudo.

Os componentes avaliados individualmente foram portas, corredores e caixas de escadas, a fim de avaliar a influência das mesmas no fluxo de saída, sem a sobreposição ou acúmulo de efeitos gerados por situações mais complexas.

8.2.3.1 Portas

A restrição da largura da porta foi comprovada em estudos anteriores utilizando o *buildingExodus*. Conforme já comentado anteriormente, os estudos de Valentin (2008), realizados em projetos de edifícios escolares e de Sena (2009), em edifícios de escritórios de múltiplos pavimentos, evidenciaram o acúmulo excessivo de pessoas frente às portas de acesso às saídas de emergência, quando estas eram dimensionadas

conforme as regulamentações e normas brasileiras consideradas. Muitas vezes esse era o fator condicionador do tempo total para abandono dos edifícios simulados.

Para esta situação, foi considerado um compartimento de 20,0m x 20,0m, no qual foi colocada uma população de adultos, com parâmetros conforme Tabela 8.8, adotando-se o valor de densidade ocupacional de 5,0 m²/pessoa, resultando em 80 pessoas. Considerou-se ainda que todos os ocupantes estariam familiarizados com a posição da porta de saída e que o espaço não possuiria restrições à movimentação dos ocupantes. Neste compartimento, foi instalada uma porta que teve sua largura variada desde a situação mais restritiva, definida em documentos normativos, até uma situação onde o fluxo de saída seria pouquíssimo condicionado pela largura da porta.

Neste estudo, a malha adotada foi de 0,20 m por 0,20 m e a largura da porta variou, dentro de parâmetros de referência da norma e das regulamentações consideradas, entre 0,80 m e 2,00 m. Foram realizadas trinta repetições de cada situação estudada e, em todos os casos, estabeleceu-se um movimento de abandono simultâneo, isto é, todos os indivíduos iniciaram o movimento em direção à saída ao mesmo tempo, após decorridos 10s no domínio do tempo da simulação.

Para a definição das dimensões das portas a serem utilizadas nas simulações foram considerados os requisitos para dimensionamento de portas das seguintes documentações: Código de Obras e Edificações do Município de São Paulo (COE) (BOTELHO; FREITAS, 2008); Regulamento de Segurança contra Incêndio das Edificações e Áreas de Risco do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2005), além da norma brasileira NBR 9077 (ABNT, 1993).

Verificou-se que o COE não aborda, em seu Capítulo 12 intitulado “*Circulação e Segurança*”, a questão do dimensionamento específico das portas que compõem as rotas de fuga, considerando apenas as questões relativas aos “*espaços de circulação*”, onde inclui somente escadas, rampas, corredores e vestíbulos. Já, tanto a NBR 9077 como a Instrução Técnica N^o 11 (IT 11) do Regulamento de Segurança contra Incêndio das Edificações e Áreas de Risco do Estado de São Paulo definem as dimensões de todos

os elementos que compõem a rota de fuga em termos de “unidades de passagem”. Para escadas e corredores, uma unidade de passagem corresponde a uma largura de 0,55 m, considerada largura suficiente para passagem de uma pessoa na sua maior largura (ombro a ombro). Para portas, contudo, esses documentos, definem uma largura mínima de 1,00 m (vão de luz), definindo que tal valor representa duas unidades de passagem.

Constituem exceção a essa regra os ambientes pequenos, com distâncias a percorrer, dentro do próprio recinto, de menos de 10 m até as portas, onde as rotas de fuga passam a ser consideradas a partir do espaço além dessas portas. Nesse caso, tanto a IT 11 como a NBR 9077 admitem portas com 0,80 m de largura (vão de luz), equivalendo, aqui, a uma unidade de passagem.

Portanto, verifica-se que as referidas documentações admitem uma redução na largura das rotas de fuga nas portas, admitindo-se uma largura menor correspondente às unidades de passagem, com exceção da largura mínima de 0,80 m. A Tabela 8.9 apresenta as diferenças nas exigências para portas das duas documentações analisadas:

Tabela 8.9 - Largura (dimensão mínima de vão de luz) de portas em rotas de fuga.

Largura (vão de luz)	Documento Normativo	
	NBR 9077	IT 11
0,80 m	Valendo por uma unidade de passagem	
1,00 m	Valendo por duas unidades de passagem	
1,20 m	-----	Acima desta largura, a porta deve ter duas folhas
1,50 m	Em duas folhas, valendo por 3 unidades de passagem	
2,00 m	-----	Em duas folhas, valendo por 4 unidades de passagem
2,20 m	Para largura igual ou superior a esta, a portas devem ter coluna central.	

A menos dessas exceções, a regra geral de cálculo para dimensionamento de saídas é realizado pela Equação 33.

A capacidade da unidade de passagem de porta para o uso de escritórios é de 100, para ambas as documentações consideradas. Assim, o número de unidades de passagem resultante para uma população de 80 pessoas seria de 0,8 ou, arredondando para número inteiro, 1 unidade. No entanto, a largura mínima das saídas em rotas de fuga deve ser sempre igual ou maior de 2 unidades de passagem. Portanto, a largura mínima, neste caso, deve ser de 1,00m de vão de luz.

Com o objetivo de verificar a coerência deste método de dimensionamento para portas, incluiu-se a largura mínima de porta admissível, de 0,80m, correspondente a uma unidade de passagem e, assim, foram adotados, em ordem crescente, os seguintes valores para a largura da porta no modelo considerado: 0,80m; 1,00m; 1,20m; 1,60m; 1,80m e 2,00m.

O código NFPA 101 determina que a largura mínima de porta (vão livre) em rotas de fuga deve ser de 810mm, ou seja, 0,81m, sendo que vale a largura por incremento de 5mm por pessoa que utiliza a rota. Assim, para uma lotação de até 162 pessoas, a largura mínima da porta seria de 0,81m.

8.2.3.2 Corredores

A largura de corredores deve permitir que os ocupantes de um edifício de múltiplos pavimentos atinjam um local seguro, como a caixa de escada protegida, rapidamente. Para tanto, como já visto no capítulo anterior, o seu dimensionamento considera a população que o corredor deve atender, conduzindo-a para uma ou mais escadas.

Neste estudo, a malha adotada foi de 0,20 m e 0,20 m e a largura do corredor variou, dentro de parâmetros de referência da norma e das regulamentações consideradas, entre 1,20 m e 2,20 m. Foram realizadas trinta repetições de cada situação.

Considerando-se a população de 80 pessoas em fluxo contínuo entrando numa extremidade de um corredor de 50m e deslocando-se em direção à outra extremidade, adotou-se, na entrada do corredor, o valor de fluxo específico médio obtido nas simulações de passagem de pessoas por portas apresentado em 8.2.3.1. Variou-se a largura com acréscimo gradual de 0,30m, resultando nas seguintes medidas: 1,20m; 1,50m; 1,80m; 2,10m e 2,40m, para avaliar sua influência na velocidade e no tempo de caminhamento das pessoas. Tempos parciais foram registrados a cada 10m, a fim de verificar a variabilidade da velocidade de caminhamento das pessoas ao longo do comprimento do corredor.

8.2.3.3 Escadas

Para efeito de comparação com os resultados já simulados no modelo *buildingExodus*, adotou-se o mesmo padrão de ambiente e ocupação. Isto é, a simulação considerou a entrada de 125 pessoas na escada, nos 9 pavimentos de um edifício de dez pavimentos, num fluxo específico médio de passagem de pessoas por uma porta de 0,90m de largura. Variou-se a largura da escada, iniciando-se com a medida mínima de 1,20m e acréscimos de 0,30m até a largura de 2,10m. Assim, foram realizadas simulações com uma escada com as seguintes larguras: 1,20m; 1,50m; 1,80m e 2,10m. Além do tempo final para deixar a escada no 1º pavimento (térreo), foram obtidos os tempos para abandono de cada pavimento, assim como o tempo para esvaziamento da escada em cada pavimento.

8.2.4 Resultados

Os resultados são apresentados por componente analisado, ou seja, portas, corredores e escadas que, por sua vez, estão subdivididos em função das larguras adotadas para as respectivas simulações.

As figuras tridimensionais com a representação da posição dos ocupantes ao longo do tempo da simulação foram geradas pelo programa *Smokeview* (FORNEY, 2010).

8.2.4.1 Portas

Os resultados das trinta simulações realizadas com cada largura de porta considerada no estudo, onde o início do movimento de saída se dá depois de 10s do tempo de simulação, são apresentados a seguir, inicialmente com a análise por largura e, ao final, com uma análise comparativa.

8.2.4.1.1 Porta de 0,80m de largura

Os resultados das 30 simulações para a porta de 0,80m de largura são apresentados na Figura 8.14. Verifica-se uma grande variabilidade ocasionada por congestionamentos, detectados pela presença de linhas horizontais no gráfico, onde não há redução da população ao longo de certo intervalo de tempo. O tempo para abandono de toda a população variou, nas simulações, entre 100s e 132s.

Figura 8.14 - Número de pessoas no ambiente, ao longo do tempo, com o ambiente com uma porta de 0,80 m de largura.

O efeito de obstrução criado por um vão de porta pequeno (0,80 m, neste caso) pode ser visualizado na sequência de imagens uma das simulações, da Figura 8.15 à Figura 8.18, que mostra a posição dos ocupantes da sala dos 20 s aos 90 s do tempo da

simulação de uma das 30 repetições realizadas. Verifica-se o acúmulo de pessoas ao redor da porta que se mantém dos 40s aos 90s. O principal fator deste acúmulo é o vão exíguo da saída que permite a passagem de somente uma pessoa por vez.

Figura 8.15 – Posição dos ocupantes, após 20s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 0,80m de largura.

Figura 8.16 – Posição dos ocupantes, após 30s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 0,80m de largura..

Figura 8.17 – Posição dos ocupantes, após 40s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 0,80m de largura.

Figura 8.18 – Posição dos ocupantes, após 50s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 0,80m de largura.

Figura 8.19 – Posição dos ocupantes, após 60s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 0,80m de largura.

Figura 8.20 – Posição dos ocupantes, após 70s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 0,80m de largura.

Figura 8.21 – Posição dos ocupantes, após 80s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 0,80m de largura.

Figura 8.22 – Posição dos ocupantes, após 90s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 0,80m de largura.

8.2.4.1.2 Porta de 1,0m de largura

A Figura 8.23 apresenta os resultados das 30 simulações para a porta de 1,0m de largura. Verifica-se uma variabilidade significativamente menor ocasionada por congestionamentos, quando os resultados são comparados aos da largura de porta de 0,80m. O tempo para abandono de toda a população diminuiu consideravelmente e variou, nas simulações, entre 70s e 79s.

Figura 8.23: Número de pessoas no ambiente, ao longo do tempo, com o ambiente com uma porta de 1,00 m de largura.

O efeito de obstrução criado por um vão de porta ainda pequeno (1,00 m, neste caso) pode ser visualizado na sequência da Figura 8.24 à Figura 8.29 que mostra a posição dos ocupantes da sala dos 20 s aos 70 s do tempo da simulação. Verifica-se o acúmulo de pessoas ao redor da porta aos 30s e que o intervalo de tempo de 10 s, até os 40s, não foi suficiente para escoar todas as pessoas que se encontravam acumuladas ao redor da porta e deixar, assim, um espaço livre para aquelas que para lá se dirigiam, fazendo com que o acúmulo de pessoas continuasse ao redor do vão até os 50 s.

Pode-se afirmar que o vão livre de 1,0m de porta ainda causa um congestionamento, pois permite a passagem de apenas uma pessoa por vez.

Figura 8.24 – Posição dos ocupantes, após 20s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,00 m de largura.

Figura 8.25 – Posição dos ocupantes, após 30s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,00 m de largura..

Figura 8.26 – Posição dos ocupantes, após 40s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,00 m de largura.

Figura 8.27 – Posição dos ocupantes, após 50s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,00 m de largura.

Figura 8.28 – Posição dos ocupantes, após 60s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,00 m de largura.

Figura 8.29 – Posição dos ocupantes, após 70s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,00 m de largura.

8.2.4.1.3 Porta de 1,20 m de largura

Os resultados das 30 simulações para a porta de 1,20m de largura são apresentados na Figura 8.30. Verifica-se uma menor variabilidade de tempo entre as simulações, não havendo sinais significativos de congestionamentos. Os tempos para abandono resultantes também diminuiram, variando entre 58s e 67s.

Figura 8.30 - Número de pessoas no ambiente, ao longo do tempo, com o ambiente com uma porta de 1,20 m de largura.

A sequência de figuras, da Figura 8.31 à Figura 8.34, apresenta um movimento mais ordenado e constante de saída da população ao longo do tempo, proporcionada pela maior largura da porta. Como as pessoas vêm de várias direções, simultaneamente, mais de um ocupante conseguem cruzar a porta, girando o seu corpo em relação à vertical, uma vez que a largura da abertura é suficiente (ver Figura 8.35).

Figura 8.31 - Posição dos ocupantes, após 20 s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,20 m de largura.

Figura 8.32 - Posição dos ocupantes, após 30 s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,20 m de largura.

Figura 8.33 - Posição dos ocupantes, após 40 s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,20 m de largura.

Figura 8.34 - Posição dos ocupantes, após 50 s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,20 m de largura.

Figura 8.35 – Detalhe da posição dos ocupantes nas proximidades da porta, após 40 s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,20 m de largura.

8.2.4.1.4 Porta de 1,60m de largura

A Figura 8.36 apresenta os resultados das 30 simulações para a porta de 1,60m de largura. Verifica-se uma faixa de variabilidade significativamente menor entre as simulações, se comparada às variabilidades das simulações para larguras menores de porta. Não há sinais de congestionamento. O tempo para abandono de toda a população diminuiu, variando, nessas simulações, entre 49s e 54s.

Figura 8.36: Número de pessoas no ambiente, ao longo do tempo, com o ambiente com uma porta de 1,60 m de largura.

A sequência da Figura 8.37 à Figura 8.40, apresenta um movimento constante de saída da população ao longo do tempo, proporcionada pela maior largura da porta.

Figura 8.37: Posição dos ocupantes, após 20 s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,60 m de largura.

Figura 8.38: Posição dos ocupantes, após 30 s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,60 m de largura.

Figura 8.39: Posição dos ocupantes, após 40 s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,60 m de largura.

Figura 8.40: Posição dos ocupantes, após 50 s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,60 m de largura.

8.2.4.1.5 Porta de 1,80m de largura

Os resultados das 30 simulações para a porta de 1,80m de largura são apresentados na Figura 8.41. Verifica-se uma semelhança muito grande entre os resultados obtidos com largura de porta de 1,60m e 1,80m. Os tempos para abandono resultantes também estão próximos, variando entre 47s e 53s.

Pode-se afirmar, então, que dentre as larguras simuladas até aqui, a partir da largura de 1,60m, o tempo de abandono não sofre mais o efeito restritivo da largura da porta, tendo maior dependência da velocidade de caminamento de cada indivíduo.

Figura 8.41: Número de pessoas no ambiente, ao longo do tempo, com o ambiente com uma porta de 1,80 m de largura.

Figura 8.42: Posição dos ocupantes, após 20 s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,80 m de largura.

Figura 8.43: Posição dos ocupantes, após 30 s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,80 m de largura.

Figura 8.44: Posição dos ocupantes, após 40 s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,80 m de largura.

Figura 8.45: Posição dos ocupantes, após 47 s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 1,80 m de largura.

8.2.4.1.6 Porta de 2,00m de largura

A Figura 8.46 apresenta curvas muito semelhantes às aquelas obtidas nas simulações para largura de porta de 1,60m e 1,80m. Confirmando a tese de que a fluxo de pessoas não é mais limitado pela largura da saída. Os tempos finais variaram entre 45s e 53s.

Figura 8.46: Número de pessoas no ambiente, ao longo do tempo, com o ambiente com uma porta de 2,00 m de largura.

Na sequência da Figura 8.47 à Figura 8.50, tem-se a posição das pessoas no espaço, dos 20 aos 45 s do tempo de simulação, com a porta com vão de 2,00 m. Nessa situação pode-se dizer que não há acúmulo de pessoas ao redor da porta.

Figura 8.47: Posição dos ocupantes, após 20 s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 2,00 m de largura.

Figura 8.48: Posição dos ocupantes, após 30 s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 2,00 m de largura.

Figura 8.49: Posição dos ocupantes, após 40 s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 2,00 m de largura.

Figura 8.50: Posição dos ocupantes, após 45 s, no domínio do tempo da simulação, para um ambiente com porta de 2,00 m de largura.

8.2.4.1.7 Análise comparativa dos resultados de saída de portas

É possível notar uma dispersão maior nos resultados das simulações para as portas de 0,80m e 1,0 m de largura, onde o grau de acúmulo de pessoas, que leva a um congestionamento mais acentuado em frente à porta, se deve à maior influência das características antropométricas dos indivíduos quando há uma restrição dimensional.

Com os valores obtidos nas 30 simulações, para cada largura de porta, obteve-se o tempo e o fluxo médio calculado e específico, o tempo médio para abandono total e o desvio-padrão sobre o tempo médio de saída (Tabela 8.10). Como já era de se esperar, quanto maior a largura da porta, menor o tempo para que toda a população deixe o ambiente em questão.

Tabela 8.10 - Valores médios das simulações em função da largura da porta

Largura da porta (m)	0,80	1,00	1,20	1,60	1,80	2,00
Fluxo calculado (pessoas/s)	0,92	1,63	2,20	3,00	3,18	3,44
Fluxo específico médio [pessoas/(m.s)]	1,15	1,63	1,83	1,88	1,76	1,72
Tempo médio de saída (s) Considerando uma espera de 10 s	113,7	74,7	62,0	50,7	49,5	48,5
Tempo médio de saída (s) Sem considerar a espera de 10 s	103,7	64,7	52,0	49,7	39,5	38,5
Desvio-padrão do tempo médio (s)	9,0	2,6	2,5	1,2	1,3	1,9

É possível verificar uma grande diferença de valores entre os resultados de simulações de saída da porta de 0,80m das demais, confirmando a exigüidade desta medida para um componente de rotas de fuga e a sua influência negativa no fluxo de pessoas no sentido da fuga. O tempo médio de abandono por uma porta de 0,80m foi de 103,7s, com desvio-padrão de 9,0s. O alargamento gradual da largura da porta não é seguido por uma diminuição proporcional do tempo de abandono.

Assim, optou-se pela análise comparativa dos resultados de largura igual ou superior a 1,0m de porta, excluindo-se os dados para portas de 0,80m, devido aos resultados muito peculiares e particulares.

Observa-se que o tempo médio para abandono total do ambiente, na melhor situação, foi de 38,5 s para uma largura de 2,0m e na pior situação, de 64,7 s para a largura de 1,0m. Quanto maior é a largura da porta, menor é o desvio-padrão ao redor

do tempo médio; o que comprova a maior influência da variabilidade das características da população nas larguras mais reduzidas.

Obviamente, o fluxo de pessoas calculado é maior, quanto maior a largura da porta; no entanto, é interessante notar que o fluxo específico médio não varia na mesma proporção, sendo maior na largura de 1,60 m e, menor na largura de 1,00 m. Apesar disso, verifica-se que o fluxo específico varia numa faixa relativamente estreita, entre 1,88 e 1,63, para largura igual ou superior a 1,00 m. Essas diferenças nos fluxos específicos podem ser atribuídas tanto à aleatoriedade das características das populações utilizada pelo programa como pelo tempo gasto pelas pessoas para percorrerem a distância desde sua posição inicial até a porta.

Calculando-se o número médio de pessoas no ambiente, ao longo do tempo, para cada largura de porta, foram obtidas as suas respectivas curvas médias de abandono dos ambientes, cujas conformações são apresentadas na Figura 8.51. Essas curvas incluem o período de espera de 10 s antes do início do movimento.

Figura 8.51 - Número médio de pessoas no ambiente, ao longo do tempo, para as diferentes larguras de porta.

Ao realizar uma análise das curvas médias, foi possível verificar que todas elas possuem trechos praticamente retos, dentro da faixa que varia entre 70 e 10 pessoas no ambiente (eixo y), sendo possível, para este trecho, obter-se a taxa constante de fluxo para cada largura de porta, apresentado na Tabela 8.10. Também é possível verificar que as curvas se aproximam significativamente entre si nas larguras de 1,60 m a 2,00 m, o que possibilitaria concluir que a partir da largura aproximada de 1,60 m, o fluxo passa a ser mais limitado pela velocidade de caminamento dos indivíduos e não mais pela largura da porta – o que justifica a diminuição no fluxo específico de saída pela porta para larguras maiores.

Aplicando-se a técnica de análise estatística de regressão para os dados médios dos trechos de reta de cada curva da Figura 8.51 foi obtida a equação que melhor representa o fenômeno, para as larguras de 1,0m a 2,0m, apresentada na Figura 8.52. Para cada largura, a referida figura apresenta também o intervalo de confiança para a média (segmento de reta vertical), considerando uma distribuição normal dos dados e uma abrangência de 95%. Por meio desta curva, é possível se obter os valores de tempo médio de evacuação para larguras intermediárias, por interpolação.

Figura 8.52 - Curva da relação entre largura da porta e tempo médio de evacuação.

Não há definição clara, tanto na NBR 9077 como na IT 11, do que representa, fisicamente, a capacidade de unidade de passagem, impossibilitando, assim, uma comparação direta dos valores lá apresentados com os acima obtidos. Contudo, Faillace (1991, p.17), que participou da comissão que elaborou o texto da NBR 9077, apresenta a seguinte informação:

“A capacidade de unidade de passagem é o número de pessoas que passa por ela num tempo determinado. Este tempo de fluxo é de 200 segundos a 3,45 minutos (207s), conforme exige a maioria dos códigos.”

Por sua vez, a publicação do Building Research Establishment (1992), uma reprodução do “Post-War Building Studies No.29” de 1952 explica o seguinte, no parágrafo 246 do documento, sobre a unidade de passagem:

“[...] com base na taxa de descarga de 40 pessoas por unidade (de saída) por minuto e um tempo admissível para abandono de 2,5 minutos, cada largura de unidade de saída pode permitir uma descarga de $40 \times 2,5 = 100$ pessoas.”
(BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT, 1992, p.79).

Portanto, para uma unidade de passagem de 0,55m e um tempo de 200 a 207s para uma capacidade de 100 pessoas por unidade de passagem, o fluxo específico obtido seria de 0,88 a 0,90 pessoas/(s.m). Porém, com base no Building Research Establishment (1952), para uma unidade de passagem de 21 polegadas (0,533m), o fluxo específico horizontal seria de 1,25pessoas/(s.m) para a capacidade de unidade de saída de 100 pessoas.

Nelson e Mowrer (2002, p. 3-371) especificam o fluxo específico máximo para corredores, rampas e portas, de 1,3 pessoas/(s.m) para uma densidade de 1,9 pessoa/m². Galea et al (2004, p. 6.25) adotam, como *default*, no modelo *buildingExodus*, o fluxo específico fixo de 1,33 pessoas/(s.m) por portas,

independentemente de sua dimensão. No entanto, nenhum desses autores admite a redução da largura da unidade de passagem em portas, como visto nas documentações brasileiras em análise.

De qualquer forma, é possível concluir que tanto o valor de fluxo específico das referidas documentações como dos autores citados são inferiores aos valores encontrados nas simulações realizadas. Isto denota, de certa forma, a adoção de valores mais conservadores nos documentos prescritivos analisados.

8.2.4.2 Corredores

Os resultados das trinta simulações realizadas com cada largura de corredor considerada no estudo são apresentados a seguir, por largura. Em todas as situações de largura estudadas, realizou-se uma análise do tempo total para que 80 pessoas percorressem o corredor de 50 m assim como os tempos parciais, registrados a cada 10 m de corredor. Ao final, realizou-se uma análise comparativa entre as diferentes largura.

8.2.4.2.1 Corredores de 1,20m de largura

Como já visto em capítulos anteriores, a largura mínima de corredores e passagens de uso coletivo, em vários textos normativos e legislativos, variam de 1,12m a 1,20m e permitira, a princípio, que duas pessoas caminhassem lado a lado ao longo das rotas de fuga. Porém, verificou-se, também, que estudos sobre saídas de emergência realizados a partir da década de 1970 já alegavam que esta largura não seria suficiente para a passagem de duas pessoas lado a lado. Assim, considerou-se como medida mínima para as simulações de corredores, a largura de 1,20m, com a finalidade de verificar o comportamento do fluxo nesta largura mínima.

A Figura 8.53 apresenta o resultado das 30 simulações de 80 pessoas percorrendo um corredor de 50 m de comprimento em função do tempo. O fluxo de entrada adotado foi aquele obtido para saída de porta de mesma largura. Verifica-se uma variação

considerável do fluxo ao longo das repetições da simulação, sendo que o tempo final ficou na faixa entre 114s e 132s.

Figura 8.53 - Número de pessoas no corredor de 1,20 m de largura, ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.

A Figura 8.54 apresenta a curva do tempo médio das 30 simulações para o mesmo corredor, cujo tempo final médio resultante foi de 130s.

Figura 8.54 - Número de pessoas no corredor de 1,20 m de largura, ao longo do tempo - média de 30 simulações.

As ilustrações seguintes, da Figura 8.55 à Figura 8.57, mostram o movimento no corredor ao longo do tempo. A faixa amarela delimita a largura efetiva de 1,20m. É possível notar que os sujeitos andam em fila única por todo o tempo, mesmo na situação de maior concentração de pessoas (maior densidade) no corredor. Assim, com a impossibilidade de ultrapassagem dos mais lentos pelos mais rápidos, o tempo para caminhar por todo o corredor fica limitado à velocidade dos indivíduos mais lentos ao longo da fila.

Figura 8.55 - Posição dos ocupantes, após 10s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 1,20 m de largura.

Figura 8.56 - Posição dos ocupantes, após 73s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 1,20 m de largura.

Figura 8.57 - Posição dos ocupantes, após 110s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 1,20 m de largura.

A sequência de figuras a seguir (Figura 8.58 a Figura 8.63) apresenta os tempos parciais necessários para que a população de 80 pessoas passe pelas distâncias de 5m, 10m, 20m, 30m, 40m e 50 m do início do corredor. Verifica-se uma inclinação semelhante entre as retas apresentadas nestas figuras, o que representa uma velocidade média constante de caminamento dos ocupantes ao longo do corredor.

Figura 8.58 - Número de pessoas que percorre a distância de 5m no corredor de 1,20m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.

Figura 8.59 - Número de pessoas que percorre a distância de 10m no corredor de 1,20m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.

Figura 8.60 - Número de pessoas que percorre a distância de 20m no corredor de 1,20m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.

Figura 8.61 - Número de pessoas que percorre a distância de 30m no corredor de 1,20m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.

Figura 8.62 - Número de pessoas que percorre a distância de 40m no corredor de 1,20m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.

Figura 8.63 - Número de pessoas que percorre a distância de 50m no corredor de 1,20m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.

A Figura 8.64 apresenta as curvas médias do tempo de passagem pelas distâncias de 5m, 10m, 20m, 30m, 40m e 50m das 30 simulações realizadas. Nota-se, como já comentado anteriormente, que as curvas são paralelas entre si, delineando, claramente, um trecho de reta na passagem entre 10 e 70 pessoas (eixo Y).

Figura 8.64 - Número de pessoas que percorre uma dada distância no corredor de 1,20 m de largura, ao longo do tempo – média de 30 simulações.

A Tabela 8.11 apresenta os resultados médios de 30 simulações, para a população de 80 pessoas passar pelas várias distâncias do corredor, assim como o desvio padrão destes tempos.

O tempo médio para percorrer o corredor foi de 125,2s. Verifica-se que os desvios padrão dos tempos de caminhada são, ao final de 30 simulações, relativamente pequenos em todas as situações.

Ao realizar uma análise das curvas médias, foi possível verificar que todas elas possuem trechos praticamente retos, dentro da faixa que varia entre 10 e 70 pessoas no ambiente (eixo y), sendo possível, para este trecho, obter-se a taxa constante de fluxo para as várias distâncias consideradas, apresentada na Tabela 8.11.

**Tabela 8.11 – Tempos e fluxos médios para percorrer as várias distância
num corredor de 1,20m de largura.**

Distância	d=5m	d=10m	d=20m	d=30m	d=40m	d=50m
Media T(s) p/80 pess	83,9	88,2	97,2	106,5	115,8	125,2
Desvio-padrão T(s)	3,1	3,1	3,4	3,7	4,1	4,4
Fluxo médio (pess/s)	1,013	1,016	1,014	1,014	1,008	1,003
T(s) médio p/ 70 pessoas	74,35	78,45	87,35	96,25	105,45	114,65
T(s) médio p/ 10 pessoas	15,1	19,4	28,2	37,05	45,95	54,85

É possível notar que o fluxo médio é praticamente constante na passagem pelas distâncias parciais. A média dos fluxos médios foi de 1,01 pessoas/s. O fluxo específico para a situação foi de 0,84 pessoas/(s.m).

8.2.4.2.2 Corredores de 1,50m de largura

A Figura 8.65 apresenta o resultado das 30 simulações de 80 pessoas percorrendo um corredor de 1,50m de largura e 50 m de comprimento em função do tempo. O fluxo de entrada adotado foi aquele obtido para saída de porta de largura de 1,60m.

Figura 8.65 - Número de pessoas no corredor de 1,50m de largura, ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.

Inicialmente, verifica-se que o tempo total para percorrer todo o corredor diminuiu em função do aumento da largura do corredor, de 1,20m para 1,50m. Este resultado leva a concluir que havia efetivamente uma restrição de passagem de pessoas no corredor de 1,20m de largura. O tempo final das simulações variou entre 96s e 108s.

A Figura 8.66 apresenta a curva de tempo da média de 30 simulações para o corredor de 1,50m de largura e a sequência de figuras seguintes, da Figura 8.67 à Figura 8.69, ilustra a movimentação das pessoas ao longo do referido corredor, nos tempos parciais de 16s, 53s, e 85s. A Figura 8.70 apresenta um detalhe do último grupo de pessoas que deixam o corredor. É possível notar que as pessoas andam quase lado a lado, ocupando toda a largura do corredor, sendo já possível verificar a ocorrência de ultrapassagem.

Figura 8.66 - Número de pessoas no corredor de 1,50m de largura, ao longo do tempo - média de 30 simulações.

Figura 8.67 - Posição dos ocupantes, após 16s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 1,50 m de largura.

Figura 8.68 - Posição dos ocupantes, após 53s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 1,50 m de largura.

Figura 8.69 - Posição dos ocupantes, após 85s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 1,50 m de largura.

Figura 8.70 - Detalhe da posição dos ocupantes do último grupo, após 85s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 1,50 m de largura.

A sequência da Figura 8.71 à Figura 8.76 apresenta os tempos parciais (resultados das 30 simulações) para percorrer as distâncias de 5m, 10m, 20m, 30m, 40m e 50m.

Figura 8.71 - Número de pessoas que percorre a distância de 5m no corredor de 1,50m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.

Figura 8.72 - Número de pessoas que percorre a distância de 10m no corredor de 1,50m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.

Figura 8.73 - Número de pessoas que percorre a distância de 20m no corredor de 1,50m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.

Figura 8.74 - Número de pessoas que percorre a distância de 30m no corredor de 1,50m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.

Figura 8.75 - Número de pessoas que percorre a distância de 40m no corredor de 1,50m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.

Figura 8.76 - Número de pessoas que percorre a distância de 50m no corredor de 1,50m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.

A Figura 8.77 apresenta as curvas resultantes das médias de tempos parciais das 30 simulações para percorrer as mesmas distâncias. Como já foi visto na largura de 1,20m, obtêm-se retas praticamente paralelas entre si no intervalo compreendido entre 10 e 70 pessoas, ao longo do comprimento do corredor.

Figura 8.77 - Número de pessoas que percorre uma dada distância no corredor de 1,50 m de largura, ao longo do tempo – média de 30 simulações.

A Tabela 8.12 apresenta os resultados médios de 30 simulações, para a população de 80 pessoas passar pelas várias distâncias do corredor, assim como o desvio padrão destes tempos médios. O tempo médio para percorrer o corredor foi de 103,4s. Verifica-se que os desvios padrão dos tempos médios de caminhada são, ao final de 30 simulações, relativamente pequenos em todas as situações.

Tabela 8.12 - Tempos e fluxos médios para percorrer as várias distâncias num corredor de 1,50m de largura.

Distância	d=5m	d=10m	d=20m	d=30m	d=40m	d=50m
Tempo Médio (s)	61,3	65,9	75,1	84,5	93,9	103,4
Desvio (s)	1,5	1,8	2,2	2,6	3,0	3,4
Fluxo médio (pess/s)	1,427	1,430	1,434	1,429	1,439	1,432
T(s) médio p/ 70 pessoas	54,05	58,35	67,35	76,45	85,55	94,85
T(s) médio p/ 10 pessoas	12	16,4	25,5	34,45	43,85	52,95

É possível notar que o fluxo médio é praticamente constante na passagem pelas distâncias parciais. A média dos fluxos médios foi de 1,43 pessoas/s e o fluxo específico para a situação, de 0,95 pessoas/(s.m).

8.2.4.2.3 Corredores de 1,80m de largura

A Figura 8.78 apresenta o resultado das 30 simulações de 80 pessoas percorrendo um corredor de 1,80m de largura e 50 m de comprimento em função do tempo. O fluxo de entrada adotado foi aquele obtido para saída de porta de mesma largura. O tempo final para percorrer todo o corredor variou entre 88s e 102s.

Figura 8.78 - Número de pessoas no corredor de 1,80m de largura, ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.

A Figura 8.79 apresenta a curva de tempo da média de 30 simulações para o corredor de 1,80m de largura e a sequência de figuras seguintes, da Figura 8.80 à Figura 8.82, ilustra a movimentação das pessoas ao longo do referido corredor, nos tempos parciais de 11s, 46s e 85s. A Figura 8.83 apresenta um detalha da simulação aos 85s,

onde é possível verificar pessoas efetivamente caminhando lado a lado, permitindo movimentos de ultrapassagem com maior facilidade.

A sequência da Figura 8.84 à Figura 8.89Figura 8.76 apresenta os tempos parciais (resultados das 30 simulações) para percorrer as distâncias de 5m, 10m, 20m, 30m, 40m e 50m.

Figura 8.79 - Número de pessoas no corredor de 1,80m de largura, ao longo do tempo - média de 30 simulações.

Figura 8.80 - Posição dos ocupantes, após 12s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 1,80 m de largura.

Figura 8.81 - Posição dos ocupantes, após 46s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 1,80 m de largura.

Figura 8.82 - Posição dos ocupantes, após 85s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 1,80 m de largura.

Figura 8.83 – Detalhe da posição dos últimos ocupantes, após 85s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 1,80 m de largura.

Figura 8.84 - Número de pessoas que percorre a distância de 5m no corredor de 1,80m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.

Figura 8.85 - Número de pessoas que percorre a distância de 10m no corredor de 1,80m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.

Figura 8.86 - Número de pessoas que percorre a distância de 20m no corredor de 1,80m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.

Figura 8.87 - Número de pessoas que percorre a distância de 30m no corredor de 1,80m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.

Figura 8.88 - Número de pessoas que percorre a distância de 40m no corredor de 1,80m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.

Figura 8.89 - Número de pessoas que percorre a distância de 50m no corredor de 1,80m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.

A Figura 8.90 apresenta as curvas resultantes das médias de tempos parciais das 30 simulações para percorrer as mesmas distâncias.

Figura 8.90 - Número de pessoas que percorre uma dada distância no corredor de 1,80m de largura, ao longo do tempo – média de 30 simulações.

A Tabela 8.13 apresenta os resultados médios de 30 simulações, para a população de 80 pessoas passar pelas várias distâncias do corredor, assim como o desvio padrão destes tempos médios.

O tempo médio para percorrer o corredor foi de 95,4s. Verifica-se que os desvios padrão dos tempos médios de caminhada são, ao final de 30 simulações, relativamente pequenos em todas as situações.

Ao realizar uma análise das curvas médias, foi possível verificar que todas elas possuem trechos praticamente retos, dentro da faixa que varia entre 10 e 70 pessoas no ambiente (eixo y), sendo possível, para este trecho, obter-se a taxa constante de fluxo para as várias distâncias consideradas, apresentada na Tabela 8.13.

Tabela 8.13 - Tempos e fluxos médios para percorrer as várias distâncias num corredor de 1,80m de largura.

Distância	d=5m	d=10m	d=20m	d=30m	d=40m	d=50m
Tempo Médio (s)	53,0	57,5	66,8	76,3	85,8	95,4
Desvio (s)	1,4	1,6	2,1	2,6	3,1	3,5
Fluxo médio(pess/s)	1,660	1,660	1,655	1,655	1,644	1,626
T(s) médio p/ 70 pessoas	46,75	51,15	60,05	68,85	77,95	87,05
T(s) médio p/ 10 pessoas	10,6	15	23,8	32,6	41,45	50,15

É possível notar que o fluxo médio é praticamente constante na passagem pelas distâncias parciais. A média dos fluxos médios foi de 1,65 pessoas/s e o fluxo específico para a situação, de 0,92 pessoas/(s. m).

8.2.4.2.4 Corredores de 2,10m de largura

A Figura 8.91 apresenta o resultado das 30 simulações de 80 pessoas percorrendo um corredor de 2,10m de largura e 50 m de comprimento em função do tempo. O fluxo de entrada adotado foi aquele obtido para saída de porta de 2,0m de largura.

Figura 8.91 - Número de pessoas no corredor de 2,10m de largura, ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.

O tempo final para percorrer todo o corredor variou entre 84s e 93s.

A Figura 8.92 apresenta a curva de tempo da média de 30 simulações para o corredor de 2,10m de largura e a sequência de figuras seguintes, da Figura 8.93 à Figura 8.95, ilustra a movimentação das pessoas ao longo do referido corredor, nos tempos parciais de 10s, 38s e 70s. A Figura 8.96 apresenta um detalhe da simulação aos 70s, onde os sujeitos caminham lado a lado sem restrições e permite-se a ultrapassagem dos mais lentos pelos mais rápidos.

Já a sequência da Figura 8.97 à Figura 8.102 apresenta os tempos parciais (resultados das 30 simulações) para percorrer as distâncias de 5m, 10m, 20m, 30m, 40m e 50m.

A Figura 8.103 apresenta as curvas resultantes das médias de tempos parciais das 30 simulações para percorrer as mesmas distâncias.

Figura 8.92 - Número de pessoas no corredor de 2,10m de largura, ao longo do tempo - média de 30 simulações.

Figura 8.93: Posição dos ocupantes, após 10s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 2,10 m de largura.

Figura 8.94: Posição dos ocupantes, após 38s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 2,10 m de largura.

Figura 8.95: Posição dos ocupantes, após 70s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 2,10 m de largura.

Figura 8.96: Detalhe da posição dos últimos ocupantes, após 70s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 2,10 m de largura.

Figura 8.97 - Número de pessoas que percorre a distância de 5m no corredor de 2,10m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.

Figura 8.98 - Número de pessoas que percorre a distância de 10m no corredor de 2,10m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.

Figura 8.99 - Número de pessoas que percorre a distância de 20m no corredor de 2,10m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.

Figura 8.100 - Número de pessoas que percorre a distância de 30m no corredor de 2,10m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.

Figura 8.101 - Número de pessoas que percorre a distância de 40m no corredor de 2,10m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.

Figura 8.102 - Número de pessoas que percorre a distância de 50m no corredor de 2,10m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.

Figura 8.103 - Número de pessoas que percorre uma dada distância no corredor de 2,10 m de largura, ao longo do tempo – média de 30 simulações.

A Tabela 8.14 apresenta os resultados médios de 30 simulações, para a população de 80 pessoas passar pelas várias distâncias do corredor, assim como o desvio padrão destes tempos médios.

O tempo médio para percorrer o corredor foi de 88,4s. Verifica-se que os desvios padrão dos tempos médios de caminhada são, ao final de 30 simulações, relativamente pequenos em todas as situações.

Ao realizar uma análise das curvas médias, foi possível verificar que todas elas possuem trechos praticamente retos, dentro da faixa que varia entre 10 e 70 pessoas no ambiente (eixo y), sendo possível, para este trecho, obter-se a taxa constante de fluxo para as várias distâncias consideradas, apresentada na Tabela 8.14.

Tabela 8.14 - Tempos e fluxos médios para percorrer as várias distâncias num corredor de 2,10m de largura.

Distância	d=5m	d=10m	d=20m	d=30m	d=40m	d=50m
Tempo Médio (s)	45,4	50,0	59,4	69,0	78,6	88,4
Desvio Padrão (s)	1,5	1,6	1,9	2,3	2,7	3,0
Fluxo médio (pess/s)	1,977	1,964	1,958	1,926	1,911	1,875
T(s) médio p/ 70 pess	40,05	44,55	53,35	62,45	71,35	80,35
T(s) médio p/ 10 pess	9,7	14	22,7	31,3	39,95	48,35

É possível notar que o fluxo médio é praticamente constante na passagem pelas distâncias parciais. A média dos fluxos médios foi de 1,94 pessoas/s, com desvio padrão de 0,038 e o fluxo específico para a situação, de 0,92 pessoas/(s. m).

8.2.4.2.5 Corredores de 2,40m de largura

A Figura 8.104 apresenta o resultado das 30 simulações de 80 pessoas percorrendo um corredor de 50 m de comprimento em função do tempo. O fluxo de entrada adotado foi aquele obtido para saída de porta de 2,0m de largura.

Figura 8.104 - Número de pessoas no corredor de 2,40m de largura, ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.

O tempo total de abandono variou, entre as simulações, de 77 a 88s.

A Figura 8.105 apresenta a curva de tempo da média de 30 simulações para o corredor de 2,40m de largura e a sequência de figuras seguintes, da Figura 8.106 à Figura 8.109, ilustra a movimentação das pessoas ao longo do referido corredor, nos tempos parciais de 10s, 42s, e 75s. Neste caso é possível observar o caminhamento de três pessoas lado a lado ao longo do corredor.

Já a sequência da Figura 8.110 à Figura 8.115 apresenta os tempos parciais (resultados das 30 simulações) para percorrer as distâncias de 5m, 10m, 20m, 30m, 40m e 50m.

A Figura 8.116 apresenta as curvas resultantes das médias de tempos parciais das 30 simulações para percorrer as mesmas distâncias.

Figura 8.105 - Número de pessoas no corredor de 2,40m de largura, ao longo do tempo - média de 30 simulações.

Figura 8.106 - Posição dos ocupantes, após 10s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 2,40 m de largura.

Figura 8.107 - Posição dos ocupantes, após 42s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 2,40 m de largura.

Figura 8.108 - Detalhe da posição dos ocupantes, após 42s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 2,40 m de largura.

Figura 8.109 - Posição dos ocupantes, após 75s, no domínio do tempo da simulação, para um corredor de 2,40 m de largura.

Figura 8.110 - Número de pessoas que percorre a distância de 5m no corredor de 2,40m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.

Figura 8.111 - Número de pessoas que percorre a distância de 10m no corredor de 2,40m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.

Figura 8.112 - Número de pessoas que percorre a distância de 20m no corredor de 2,40m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.

Figura 8.113 - Número de pessoas que percorre a distância de 30m no corredor de 2,40m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.

Figura 8.114 - Número de pessoas que percorre a distância de 40m no corredor de 2,40m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.

Figura 8.115 - Número de pessoas que percorre a distância de 50m no corredor de 2,40m ao longo do tempo – resultados de 30 simulações.

Figura 8.116 - Número de pessoas que percorre uma dada distância no corredor de 2,40m de largura, ao longo do tempo – média de 30 simulações.

A Tabela 8.15 apresenta os resultados médios de 30 simulações, para a população de 80 pessoas passar pelas várias distâncias do corredor, assim como o desvio padrão destes tempos médios.

O tempo médio para percorrer o corredor foi de 82,6s. Verifica-se que os desvios padrão dos tempos médios de caminhada são, ao final de 30 simulações, relativamente pequenos em todas as situações.

Ao realizar uma análise das curvas médias, foi possível verificar que todas elas possuem trechos praticamente retos, dentro da faixa que varia entre 10 e 70 pessoas no ambiente (eixo y), sendo possível, para este trecho, obter-se a taxa constante de fluxo para as várias distâncias consideradas, apresentada na Tabela 8.15.

Tabela 8.15- Tempos e fluxos médios para percorrer as várias distâncias num corredor de 2,40m de largura.

Distância	d=5m	d=10m	d=20m	d=30m	d=40m	d=50m
Tempo Médio (s)	40,4	44,9	54,1	63,5	73,0	82,6
Desvio Padrão (s)	1,4	1,5	1,8	2,2	2,5	2,8
Fluxo médio (pess/s)	2,260	2,286	2,286	2,251	2,230	2,198
T(s) médio p/ 70 pess	35,55	39,65	48,25	57,15	66,15	75,05
T(s) médio p/ 10 pess	9,0	13,4	22	30,5	39,25	47,75

É possível notar que o fluxo médio é praticamente constante na passagem pelas distâncias parciais. A média dos fluxos médios foi de 2,25 pessoas/s, com desvio padrão de 0,034 e o fluxo específico para a situação, de 0,94 pessoas/(s.m).

8.2.4.3 Análise comparativa dos resultados de saída de corredores

Para efeito de análise comparativa, as curvas médias dos tempos de simulação para cada largura considerada são apresentadas na Figura 8.117. Quanto maior a largura do corredor, menor é o tempo para percorrer a distância de 50 m, sendo os resultados finais equidistantes entre si, com exceção do resultado para o corredor de 1,2m. Neste último caso, observa-se que o tempo de abandono é muito superior às demais larguras de corredor e a curva não apresenta semelhança às demais.

Os valores de tempo médio são apresentados na Tabela 8.16, incluindo os tempos parciais, correspondentes àqueles para os comprimentos intermediários de corredor, assim como seus respectivos desvios-padrão.

Percebe-se que quanto maior a largura do corredor, menor o tempo médio para percorrer a mesma distância e menor, também, o seu desvio-padrão, sendo que a situação mais crítica é para a menor largura, de 1,20m.

Figura 8.117 – Tempo para 80 pessoas percorrerem uma dada largura de corredor (média de 30 simulações para cada largura considerada).

Tabela 8.16 – Resumo dos resultados (tempo) para cada largura de corredor considerada no estudo.

Largura	Parâmetro	d=5m	d=10m	d=20m	d=30m	d=40m	d=50m
L=1,2m	Tempo Médio (s)	83,9	88,2	97,2	106,5	115,8	125,2
	Desvio Padrão (s)	3,1	3,1	3,4	3,7	4,1	4,4
L=1,5m	Tempo Médio (s)	61,3	65,9	75,1	84,5	93,9	103,4
	Desvio Padrão (s)	1,5	1,8	2,2	2,6	3,0	3,4
L=1,8m	Tempo Médio (s)	53,0	57,5	66,8	76,3	85,8	95,4
	Desvio Padrão (s)	1,4	1,6	2,1	2,6	3,1	3,5a
L=2,1m	Tempo Médio (s)	45,4	50,0	59,4	69,0	78,6	88,4
	Desvio Padrão (s)	1,5	1,6	1,9	2,3	2,7	3,0
L=2,4m	Tempo Médio (s)	40,4	44,9	54,1	63,5	73,0	82,6
	Desvio Padrão (s)	1,4	1,5	1,8	2,2	2,5	2,8

A Figura 8.118 apresenta, por sua vez, curvas que possibilitam obter os valores de tempo médio de evacuação para larguras intermediárias, por interpolação. É possível notar que se obtém uma única equação de reta (linear) entre a largura de 1,50m e 2,40m para todos os comprimentos de corredor. Excetua-se desta situação o intervalo entre 1,20m e 1,50m de corredor, onde a reta apresenta outro ângulo de inclinação.

Figura 8.118 – Tempo para percorrer uma dada distância em função da largura do corredor.

8.2.4.4 Escadas

Os resultados de dez repetições de simulações realizadas com cada largura de escada considerada no estudo são apresentados a seguir, por largura. Em todas as situações de largura estudadas, realizou-se uma análise do tempo para que 1125 pessoas, distribuídas igualmente em 9 pavimentos, percorressem a escada para atingir o piso térreo. Ao final, realizou-se uma análise comparativa entre as diferentes medidas de largura.

A Figura 8.119 apresenta uma representação esquemática da escada, das portas de acesso dos pavimentos (em azul) e seções de passagem (em verde). Nesta seção de passagem foi realizada a contagem dos sujeitos que passam pelos patamares dos pavimentos. Já a Figura 8.120 identifica, por cores, o pavimento de origem dos sujeitos que descem as escadas.

Figura 8.119 – Vista da torre de escada e detalhe das portas de acesso (em azul) e das seções de contagem de passagem de pessoas no interior da escada (em verde).

Figura 8.120 – Ilustração da identificação dos sujeitos por cores em função do pavimento de origem.

8.2.4.4.1 Escadas de 1,20m de largura

A Figura 8.121 apresenta o número de pessoas na escada (região dos degraus e patamares) ao longo do tempo, até o abandono total da caixa de escada, em valores médios das dez repetições da mesma situação. Ressalta-se que durante o intervalo de tempo entre, aproximadamente, 130s e 450s, o número de pessoas na escada ficou praticamente constante em 350, demonstrando ser sua a capacidade máxima de acolhimento de pessoas.

Na Figura 8.122, é apresentado o tempo de abandono dos ambientes de cada pavimento com acesso à escada por uma abertura de 0,9 m de largura. Observando-se as imagens apresentadas da Figura 8.123 à Figura 8.126, onde estão ilustradas as

posições das pessoas ao longo do tempo, encontra-se a justificativa para os resultados apresentados na Figura 8.122. Verifica-se que os ocupantes do 10º pavimento conseguem adentrar, rapidamente, na escada vazia e criam um fluxo de pessoas que dificulta a entrada das pessoas dos andares abaixo dele. Assim, os ocupantes do 9º pavimento têm a sua entrada na escada prejudicada pelo fluxo das pessoas que vêm do 10º pavimento. De modo similar, os ocupantes do 8º pavimento têm sua entrada na escada dificultada pelo fluxo de pessoas oriundas do 9º e 10º pavimentos, juntas. Essa mesma situação se verifica para os pavimentos de número 6 e 7.

Do 5º pavimento para baixo, a perturbação causada pelo fluxo descendente das pessoas sobre a entrada dos ocupantes do andar na escada começa a diminuir uma vez que o dito fluxo ficou reduzido devido ao congestionamento causado mais acima. Para esses pavimentos, o movimento de abandono é condicionado pelo número de pessoas que já estão na escada, oriundos dos andares mais baixos. Os resultados apresentados na Figura 8.128 detalham esse fenômeno.

Essa situação é tão marcante que os últimos ocupantes a deixarem a escada são oriundos do 6º pavimento (sujeitos de cor verde), antecedidos por pessoas do 5º pavimento (sujeitos de cor amarela), como pode ser visto na Figura 8.126.

Os detalhes apresentados na Figura 8.127 mostram, respectivamente, em a) que o fluxo ascendente não permite a entrada de sujeitos “verdes” na escada; e, em b) que, apesar da escada ter 1,20m de largura, apenas uma pessoa ocupa o degrau, não havendo o caminhamento de duas pessoas lado a lado, de forma similar ao verificado no estudo dos corredores.

Nesse quadro, o tempo médio para abandono total do edifício, por uma escada de 1,20 m de largura, foi de 1167 segundos (19,45 minutos).

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
 PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
 ROSARIA ONO

Figura 8.121 - Número de pessoas na escada de 1,20m de largura, ao longo do tempo - média de 10 simulações.

Figura 8.122 - Tempo para toda a população dos pavimentos adentrarem a escada de 1,20m de largura – média de 10 simulações

Figura 8.123 - Posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 1,20m de largura .

Figura 8.124 - Posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 1,20m de largura .

Figura 8.125 - Posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 1,20m de largura .

Figura 8.126 - Posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 1,20m de largura .

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
ROSARIA ONO

Figura 8.127 – Vista em detalhe da posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 1,20m de largura .

Na Figura 8.129, tem-se o número de pessoas que passa pelos diversos patamares ao longo do tempo. Nota-se que, para cada patamar, tem-se um fluxo de pessoas aproximadamente constante, que é fruto da quase total lotação da escada.

Figura 8.128 - Número de pessoas na escada de 1,20m de largura, entre os pavimentos, ao longo do tempo – média de 10 simulações

Figura 8.129 - Tempo para passagem dos ocupantes entre patamares da escada nos pavimentos para escada de 1,20m de largura.

8.2.4.4.2 Escadas de 1,50m de largura

A Figura 8.130 apresenta o número de pessoas na escada (região dos degraus e patamares) ao longo do tempo, até o abandono total da caixa de escada, em valores médios das dez repetições da mesma situação. Em comparação com os resultados obtidos para a escada de 1,20m de largura, observa-se um comportamento diferente, ou seja, não se tem a “constância de presença de pessoas” anteriormente verificada, mas um pico de 500 pessoas aos 150s, o que denota uma maior capacidade de acolhimento de pessoas e de seu escoamento.

Na Figura 8.131, é apresentado o tempo de abandono dos ambientes de cada pavimento, que é, da ordem, de 60% dos obtidos para a escada de 1,20m de largura. Isso também representa um aumento significativo na capacidade de escoamento. Contudo, não se elimina o efeito de dificuldade de entrada nos patamares causado pelo fluxo descendente de pessoas verificado para a escada de 1,20m.

Observando-se as imagens apresentadas da Figura 8.132 à Figura 8.135, onde estão ilustradas as posições das pessoas ao longo do tempo. Verifica-se que os ocupantes do 10º pavimento conseguem adentrar, rapidamente, na escada vazia e criam um fluxo de pessoas que dificulta a entrada das pessoas dos andares abaixo dele. Assim, os ocupantes do 9º pavimento têm a sua entrada na escada prejudicada pelo fluxo das pessoas que vêm do 10º pavimento. De modo similar, os ocupantes do 8º pavimento têm sua entrada na escada dificultada pelo fluxo de pessoas oriundas do 9º e 10º pavimentos, juntas. Essa mesma situação se verifica para o pavimento de número 7.

Do 6º pavimento para baixo, a perturbação causada pelo fluxo descendente das pessoas sobre a entrada dos ocupantes do andar na escada começa a diminuir uma vez que o dito fluxo ficou reduzido devido ao congestionamento causado mais acima. Para esses pavimentos, o movimento de abandono é condicionado pelo número de pessoas que já estão na escada, oriundos dos andares mais baixos. Os resultados apresentados na Figura 8.138 detalham esse fenômeno.

A situação aqui discutida é a mesma que ocorre na escada de 1,20m de largura, porém um pouco atenuada e, com efeito mais sensível ocorrendo em outro pavimento. Aqui, os ocupantes do 8º pavimento são os últimos a deixar a escada.

Os detalhes apresentados na Figura 8.136 mostram o processo de descida das pessoas do 10º pavimento ainda dificultando a entrada das pessoas do 9º pavimento no patamar. Na Figura 8.137, tem-se detalhes da escada em $T=360s$, onde pode-se verificar que, em a), os ocupantes de 9º pavimento só conseguem entrar quando não há mais fluxo de pessoas oriundo do 10º pavimento; e, em b), que os ocupantes dos andares mais baixos já estão em fluxo contínuo.

Nesse quadro, o tempo médio para abandono total do edifício, por uma escada de 1,50 m de largura, foi de 790 segundos (13,17 minutos).

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
 PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
 ROSARIA ONO

Figura 8.130 - Número de pessoas na escada de 1,50m de largura, ao longo do tempo - média de 10 simulações.

Figura 8.131 - Tempo para toda a população dos pavimentos adentrarem a escada de 1,50m de largura – média de 10 simulações

Figura 8.132 - Posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 1,50m de largura .

Figura 8.133 - Posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 1,50m de largura .

Figura 8.134 - Posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 1,50m de largura .

Figura 8.135 - Posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 1,50m de largura .

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
 PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
 ROSARIA ONO

Figura 8.136 - Vista em detalhe da posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 1,50m de largura .

Figura 8.137 - Vista em detalhe da posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 1,50m de largura .

Figura 8.138 - Número de pessoas na escada de 1,50m de largura, entre os pavimentos, ao longo do tempo – média de 10 simulações.

Na Figura 8.139, tem-se o número de pessoas que passa pelos diversos patamares ao longo do tempo. Nota-se que, para os patamares mais elevados, o fluxo varia com o tempo, reflexo da dificuldade de se adentrar neles. Já nos mais baixos, onde recebe-se a contribuição tanto dos andares próximos a eles, como dos andares muito mais acima, tem-se um fluxo de pessoas aproximadamente constante, que é fruto, nesse caso, da constância do escoamento ao invés da quase total lotação da escada, verificado para o caso com largura de 1,20 m.

Figura 8.139 - Tempo para passagem dos ocupantes entre patamares da escada nos pavimentos para escada de 1,50m de largura.

8.2.4.4.3 Escadas de 1,80m de largura

Os valores médios para dez repetições da simulação de abandono total da caixa de escada, para a largura de 1,80m, são apresentados na Figura 8.140. É possível observar que a curva obtida apresenta um pico ainda mais alto, de quase 600 pessoas aos 150s, se comparado à escada de 1,50m de largura, tendo um tempo médio de abandono final também menor, de 684 segundos (11,4 minutos).

O tempo para que toda a população de cada pavimento adentre a caixa de escada é apresentado na Figura 8.141, onde se observa que houve, comparativamente, uma redução pequena nos picos, em relação à escada com largura de 1,50m. O maior tempo no abandono se manteve no 7º pavimento e os menores tempos, nos pavimentos mais altos e mais baixos.

As imagens apresentadas em seguida, da Figura 8.142 à Figura 8.145, ilustram as posições das pessoas ao longo do tempo. O fenômeno descrito para a escada de 1,20m

e 1,50m de largura, de criação de um fluxo de pessoas dos pavimentos superiores que dificulta a entrada de pessoas de pavimentos inferiores, se repete. Os resultados apresentados, da Figura 8.146 à Figura 8.148, detalham alguns dos instantes do movimento no interior da escada. No tempo de 166 segundos é possível verificar que a escada está lotada de pessoas de pavimentos superiores, dificultando a entrada das pessoas do 5º (vermelhos) e 6º (verdes) pavimentos. No tempo de 360 segundos, as pessoas acumuladas no 8º pavimento (azul) conseguem entrar na escada, após esvaziamento dos pavimentos superiores e, no térreo, mesmo com acúmulo em cima, ainda há espaço para as pessoas deixarem o edifício com facilidade, embaixo. Não há congestionamento nos pavimentos inferiores, pois há um represeamento de pessoas nos pavimentos superiores.

A Figura 8.149 mostra o número de pessoas na escada, entre os pavimentos, ao longo do tempo. Verifica-se que, em relação aos resultados para a escada de 1,50m, o aumento da largura da escada permitiu que o acúmulo de pessoas fosse menor entre o 10º e 9º pavimentos, deslocando o congestionamento para os pavimentos inferiores. Há um significativo acúmulo de pessoas por maior tempo entre o 8º e 6º pavimentos.

A Figura 8.150 apresenta o número de pessoas que passa pelos diversos patamares ao longo do tempo. Igualmente ao que ocorreu na escada com 1,50m de largura, o fluxo varia com o tempo nos patamares mais elevados, reflexo da dificuldade de se adentrar neles, e nos mais baixos, tem-se um fluxo de pessoas aproximadamente constante, fruto da constância do escoamento.

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
ROSARIA ONO

Figura 8.140 - Número de pessoas na escada de 1,80m de largura, ao longo do tempo - média de 10 simulações.

Figura 8.141 - Tempo para toda a população dos pavimentos adentrarem a escada de 1,80m de largura – média de 10 simulações

Figura 8.142 - Posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 1,80m de largura .

Figura 8.143 - Posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 1,80m de largura .

Figura 8.144 - Posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 1,80m de largura .

Figura 8.145 - Posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 1,80m de largura .

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
 PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
 ROSARIA ONO

Figura 8.146 – Detalhe da posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 1,80m de largura .

Figura 8.147 – Detalhe da posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 1,80m de largura .

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
ROSARIA ONO

Figura 8.148 – Detalhe da posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 1,80m de largura .

Figura 8.149 - Número de pessoas na escada de 1,80m de largura, entre os pavimentos, ao longo do tempo – média de 10 simulações

Figura 8.150 - Tempo para passagem dos ocupantes entre patamares da escada nos pavimentos para escada de 1,80m de largura.

8.2.4.4.4 Escadas de 2,10m de largura

Os valores médios para dez repetições da simulação de abandono total da caixa de escada, para a largura de 2,10m, são apresentados na Figura 8.151. É possível observar que a curva obtida apresenta um pico mais elevado, de mais de 650 pessoas a aproximadamente 150s, se comparado à escada de 1,80m de largura. O tempo médio de abandono final diminuiu para 603 segundos (10 minutos).

O tempo para que toda a população de cada pavimento adentre a caixa de escada é apresentado na Figura 8.152, onde se observa que houve, comparativamente, uma redução significativa dos picos, em relação às escadas com larguras inferiores, além do seu deslocamento para pavimentos mais centrais. O maior tempo no abandono se deslocou para o 6º pavimento.

As imagens apresentadas em seguida, da Figura 8.153 à Figura 8.156, ilustram as posições das pessoas ao longo do tempo. O fenômeno descrito para as escadas de

menor largura, de criação de um fluxo de pessoas dos pavimentos superiores que dificulta a entrada de pessoas de pavimentos inferiores, se repete em menor grau. As ilustrações detalhadas do movimento, da Figura 8.157, mostram dois instantes do movimento no interior da escada. No tempo de 84 segundos é possível verificar que a escada não está completamente cheia nos pavimentos superiores, porém, aos 344 segundos, verifica-se uma ocupação mais intensa em toda a largura da caixa de escada.

A Figura 8.158 mostra o número de pessoas na escada, entre os pavimentos, ao longo do tempo. Em relação aos resultados para a escada de 1,80m, observa-se que o aumento da largura da escada permitiu, novamente, que o acúmulo de pessoas fosse menor nos pavimentos superiores, deslocando os acúmulos de pessoas entre pavimentos para pavimentos inferiores. O maior acúmulo de pessoas ocorre entre o 7º e 6º pavimentos.

Figura 8.151 - Número de pessoas na escada de 2,10m de largura, ao longo do tempo - média de 10 simulações.

O IMPACTO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA SOBRE O
PROJETO ARQUITETÔNICO DE EDIFÍCIOS ALTOS
ROSARIA ONO

Figura 8.152 - Tempo para toda a população dos pavimentos adentrarem a escada de 2,10m de largura – média de 10 simulações

Figura 8.153 – Posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 2,10m de largura .

Figura 8.154 – Posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 2,10m de largura .

Figura 8.155 – Posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 2,10m de largura .

Figura 8.156 – Posição dos ocupantes, em vários instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 2,10m de largura .

Figura 8.157 – Detalhe da posição dos ocupantes, em dois instantes, no domínio do tempo da simulação (T), para a escada de 2,10m de largura .

Figura 8.158 - Número de pessoas na escada de 2,10m de largura, entre os pavimentos, ao longo do tempo – média de 10 simulações

A Figura 8.159 apresenta o número de pessoas que passa pelos diversos patamares ao longo do tempo. Igualmente ao que ocorreu nas escadas com larguras inferiores, o fluxo varia com o tempo nos patamares mais elevados e, nos mais baixos, tem-se um fluxo de pessoas aproximadamente constante.

Figura 8.159 - Tempo para passagem dos ocupantes entre patamares da escada nos pavimentos para escada de 2,10m de largura.

8.2.4.5 Análise comparativa dos resultados de saída de escadas

A Tabela 8.17 apresenta o resumo dos tempos totais médios de abandono para cada largura de escada considerada no estudo apresentado. Verifica-se uma redução significativa, de 32%, no tempo entre escadas com largura de 1,2m e 1,5m, e diminuições graduais entre as demais larguras de escada, chegando-se a uma redução de quase 50% no tempo de abandono entre a largura de 1,2m e de 2,1m. Assim, é possível concluir que a redução no tempo de abandono não é proporcional ao aumento na largura da escada. Tal fenômeno se reflete no tempo de abandono dos ambientes de cada pavimento, conforme pode ser visto na Figura 8.160.

Tabela 8.17 – Resumo dos tempos totais de abandono para cada largura de escada considerada no estudo.

Largura	L=1,2m	L=1,5m	L=1,8m	L=2,1m
Tempo Médio (s)	1167,3	790,7	684,3	603,2
Desvio (s)	6,9	8,8	3,3	4,0

Figura 8.160 - Tempos máximos de abandono dos pavimentos para diferentes larguras de escada.

A Figura 8.161 apresenta o número de pessoas que se encontram no interior das escadas ao longo do tempo. Verifica-se, neste caso, um fenômeno semelhante ao já identificado anteriormente para as situações, respectivamente, de portas e de corredores. Pode-se dizer que existe uma semelhança entre as curvas para as escadas de 1,50m, 1,80m e 2,10m e que a situação para a escada de 1,20m de largura é totalmente diferente e atípica – o que, novamente, demonstra as consequências trazidas pela limitação dimensional.

Figura 8.161 – Número de pessoas no interior da escada ao longo do tempo para diferentes larguras de escada.

8.2.5 Análise geral dos fluxos de saída

De maneira geral, é possível afirmar que os fluxos de pessoas pelos elementos que compõem as rotas de fuga são determinados pela possibilidade de ultrapassagem de pessoas mais lentas que estejam à frente de pessoas mais rápidas. Caso as larguras dos elementos de passagem não permitam tal ultrapassagem, sempre se terá o fluxo limitado pela pessoa mais lenta no trajeto. Neste sentido, os resultados das simulações mostram que as unidades de passagem de 0,55m ou 0,6m, oriundas de estudos dimensionais do corpo humano, são insuficientes para se conseguir realizar as ultrapassagens, devido à tendência das pessoas adotarem trajetórias que lhes são mais confortáveis ou oscilarem durante seu deslocamento.

Praticamente, todos os resultados obtidos demonstram que para larguras de 1,2m ou menores, os fluxos de pessoas são muito inferiores ao que se esperaria, considerando aqueles obtidos para larguras maiores. Na Figura 8.162, onde são apresentados os fluxos específicos, verificam-se valores mais baixos para larguras menores ou iguais a 1,2m, o que comprova o resultado de menor fluxo total, que é fruto de fluxo específico menor multiplicado por uma largura reduzida. Constitui exceção a porta, onde o limite citado está em 1,0m e não em 1,2m.

Figura 8.162 – Fluxo específico em função da largura dos componentes de rotas de fuga.

9 CONCLUSÕES

O projeto de saídas de emergência é, dentro do estudo de segurança contra incêndio em edificações, um tema central, quando se trata de ambientes construídos e ocupados pelo homem. Um ambiente construído deve atender aos requisitos mínimos de desempenho e, dentre estes, está a segurança à vida dos ocupantes e a preservação de seu entorno contra sinistros naturais e causados pelo homem, como o incêndio.

Há algumas situações específicas de ocupação do ambiente construído que, por sua natureza, necessitam de maior atenção, em relação ao projeto de saídas de emergência. Dentre estes estão os locais de grande reunião de público, como salas de espetáculos, estádios e outros usos específicos, como hospitais. O edifício alto de escritórios foi o tema escolhido para abordar o projeto de saídas de emergência nesta tese também devido às suas peculiaridades.

Como já discutido nesta tese, o edifício alto de escritório é uma das tipologias de ambiente construído onde são vistos os projetos mais ousados, na corrida pelo arranha-céu mais alto, pelo domínio e emprego da mais moderna tecnologia construtiva, pelo marco arquitetônico e seu impacto (imponência) na paisagem urbana, assim como pelo desejo de demonstração de poder de seus empreendedores.

Também foi possível verificar que os códigos prescritivos podem ser limitadores neste processo de desenvolvimento dos edifícios de estrutura super-elevada. Já nas primeiras décadas do século XX, nos EUA, estudos mostravam como diversas regulamentações e normas permitiam a verticalização das construções, porém sem estudos suficientemente fundamentados que garantissem a saída rápida e segura das pessoas dos edifícios de múltiplos pavimentos.

As regulamentações prescritivas desenvolvidas ao longo da primeira metade do século XX nos EUA e na Europa se disseminaram pelo resto do mundo e influenciaram as regulamentações de vários outros países. No Brasil, os parâmetros de dimensionamento de saídas de emergência inicialmente adotados se originam de regulamentações e

normas norte-americanas, tanto o Código de Edificações do Município de São Paulo, de 1975, como, posteriormente, a norma brasileira NB 208 (atual NBR 9077).

O Código de Obras e Edificações atualmente vigente no Município de São Paulo sofreu influência de uma regulamentação espanhola de proteção contra incêndio, de 1981, intitulada Norma Básica de la Edificación NBE-CPI-81 (MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y URBANISMO, 1982). É importante ressaltar que, na Espanha, esta regulamentação sofreu sucessivas atualizações, e o método atualmente vigente de dimensionamento foi introduzido em 1991.

Nos EUA, o projeto das Torres Gêmeas do World Trade Center não adotou os parâmetros de nenhum código ou regulamentação prescritivo existente para saídas de emergência, pois estes inviabilizariam o projeto, principalmente pela necessidade de implantação de grande número de saídas verticais. Permitiu-se a instalação de apenas três escadas, pois se assumiu que em caso de incêndio seria necessário o abandono parcial do edifício, ou seja, apenas do pavimento de origem do incêndio e seus imediatamente adjacentes, superiores e inferiores.

Pode-se dizer que o projeto das Torres Gêmeas estabeleceu um marco na época de sua construção, na década de 1970, pois para ele foi assumida uma série de parâmetros que abriam mão de vários dos requisitos prescritivos até então vigentes, além de assumir outros parâmetros até então inimagináveis.

Os projetos de edifícios altos de escritórios na cidade de São Paulo já sofrem com as severas limitações da regulamentação prescritiva atualmente vigente, no que se refere às saídas de emergência, se comparada à outra referência de âmbito nacional disponível, a norma brasileira NBR 9077, como já discutido neste trabalho. No entanto, verifica-se que possivelmente as premissas adotadas para o dimensionamento das rotas de fuga verticais em ambos os casos sejam bem diferentes. As premissas, neste caso, se fundamentam em diferentes tipos de estratégia de abandono adotados para edifícios de múltiplos pavimentos.

Nenhum dos textos normativos ou de regulamentação estudados nesta tese deixa clara a estratégia de abandono adotada para o dimensionamento das rotas de fuga verticais, apesar de textos históricos e estudos realizados principalmente nos EUA e Canadá comentarem que o código NFPA 101 e outras regulamentações norte-americanas consideram, em seu dimensionamento, o abandono parcial ou faseado de edificações de múltiplos pavimentos. Porém, poucos trabalhos apresentam subsídios para definir qual o critério utilizado para a escolha da estratégia mais adequada de abandono e, portanto, qual o método de dimensionamento a adotar para rotas de fuga verticais em cada situação.

A norma brasileira NBR 9077 adota, basicamente, critérios de dimensionamento do código NFPA 101, portanto, considera como premissa o abandono parcial ou faseado. No entanto, em nenhuma documentação técnica relativa aos planos de abandono ou ao dimensionamento de rotas de fuga, consta esta premissa, que é muito importante no planejamento do treinamento de abandono dos ocupantes do edifício, assim como no gerenciamento da segurança contra incêndio do edifício para garantir o efetivo funcionamento dos sistemas de proteção contra incêndio (detecção, alarme e comunicação, principalmente). A formação e treinamento de brigadas e dos planos de abandono deveriam ser realizados em acordo com a estratégia adotada no projeto de saídas de emergência. Caso as saídas de emergência tenham sido dimensionadas de acordo com a norma brasileira num edifício elevado de escritórios, existe uma alta probabilidade de um abandono total e simultâneo efetivamente congestionar as saídas verticais e dificultar o rápido escoamento dos pavimentos onde os ocupantes estão efetivamente expostos aos efeitos do incêndio.

O COE, assim como a regulamentação espanhola da qual este derivou, adiciona um fator de correção no dimensionamento das rotas de fuga verticais em função do número de pavimentos envolvidos que tende a aumentar a sua largura final. Presume-se que este fator de correção leve em consideração o abandono total e simultâneo do edifício. No entanto, também se verifica que este fator pode inviabilizar o projeto,

devido à largura total excessiva resultante. Por outro lado, não existe, no referido documento técnico espanhol, nenhuma clareza sobre o tipo de estratégia de abandono considerado.

Verifica-se, nos documentos técnicos prescritivos analisados, a ausência de um parâmetro que abriu a discussão desta tese: a do tempo para o abandono seguro do edifício.

A definição de tempo para abandono mais conhecida e mais antiga, neste aspecto, é o de 2,5 minutos para que as pessoas deixem o local, com base no abandono total bem sucedido durante um incêndio ocorrido em 1911, num teatro em Edimburgo, Escócia. No entanto, este tempo tem como princípio o que foi denominado “tempo máximo para abandono sem gerar pânico”, isto é, considerando que a demora para sair do local em risco pode ser um problema vinculado à ansiedade causada pela espera. Também neste caso, não fica claro a partir de quê momento se inicia a contagem deste tempo: presume-se que seja a partir do instante que as pessoas percebem o perigo e iniciam o movimento de abandono. Porém, isso é incerto, pois naquele momento (ano de 1911) não havia a clareza que hoje se têm sobre as fases que envolvem o processo de abandono e os diferentes tempos para reação à informação recebida.

A capacidade da unidade de saída está vinculada a um tempo de abandono de 2,5 minutos. Originalmente, uma unidade de saída possibilitaria um fluxo de 40 pessoas por minuto e, em 2,5 minutos, se garantiria a passagem de 100 pessoas por unidade de saída ($40 \text{ pessoas/min} \times 2,5 \text{ min}$). Assim, a capacidade de uma unidade de saída seria de 100 pessoas. Este número também foi adotado pelo código NFPA 101 e é utilizado até hoje tanto no COE como na NBR 9077, para saídas horizontais. Já para saídas verticais, o código NFPA 101 determina a capacidade de uma unidade de saída de 60 pessoas, considerando uma desaceleração no movimento de saída em escadas, que para abrigar os ocupantes nos mesmos 2,5 minutos no seu interior, deveria ser mais larga (ter mais unidades de saída). Os resultados obtidos nesta tese demonstram que as capacidades dos elementos das rotas de fuga não são constantes, como adotado em normas e

códigos, mas sim função de sua dimensão (largura), como pode ser visto na Tabela 9.1. Nesta mesma tabela, constata-se que os valores adotados tanto na NBR 9077, com no COE são conservadores para portas e escadas e pouco exigentes para corredores. Constitui exceção a situação em que o Código de Obras trata da circulação por vias coletivas protegidas, para as quais as capacidades prescritas são significativamente maiores que as obtidas nas simulações computacionais.

**Tabela 9.1 – Comparação entre valores de capacidade de passagem
em função do tipo de via de escoamento e tipo de uso.**

Uso/Ocupação	Corredores				Escadas				Portas		
	NBR 9077	COE ¹	COE ²	EVAC	NBR 9077	COE ¹	COE ²	EVAC	NBR 9077	COE	EVAC
Serviço Profissional - Escritórios	100	100	250	70 L=1,2m	60	65	160	68 L=1,2m	100	-x-	135 L=1,0m
				77 L ≥ 1,5m				80 L ≥ 1,5m			150 L ≥ 1,2m

Legenda:

COE¹: Valor de "K" para circulação coletiva.

COE²: Valor de "K" para circulação coletiva protegida.

EVAC: Resultados obtidos das simulações com o programa EVAC

Valores idênticos

Valores próximos (variação de 5 a 10 unidades)

Fontes: Botelho; Freitas (2008, p. 103); São Paulo (2005, p. 261).

Foi possível verificar, também, que os estudos realizados pelos canadenses nas décadas de 1960 e 1970, no abandono de edifícios altos de escritórios, traziam novos dados que contestavam a efetividade do conceito de unidade de passagem, com o valor de 0,55m a 0,60m, principalmente em escadas, assim como dos tempos necessários para o abandono dos pavimentos, até um local seguro. Estes estudos também compararam as diferenças nos tempos de escoamento em função das estratégias de abandono e confirmaram que há limites para a realização do abandono total e simultâneo por meio de escadas dimensionadas acordo com o método predominante, sem prejuízo à segurança dos ocupantes.

Experimentos práticos para verificar a efetividade de medidas de segurança contra incêndio nem sempre são possíveis ou viáveis. Incêndios são eventos raros, que

ocorrem por circunstâncias muito particulares e específicas, nem sempre reproduzíveis. Assim, obter dados de medição do fenômeno de movimento de pessoas em situação de incêndio real também é muito difícil e raro. Como, então, seria possível verificar se os métodos prescritivos de dimensionamento de saídas estão adequados e garantem a segurança das pessoas numa situação de emergência? Quais são as limitações destes métodos prescritivos? Que outras soluções poderiam ser dadas para resolver o mesmo problema, diante dos avanços científicos e tecnológicos?

A possibilidade de propor soluções alternativas àquelas definidas nos métodos prescritivos permitiu, nos países desenvolvidos, o desenvolvimento de estudos e ferramentas de avaliação da efetividade desses novos métodos que culminaram no desenvolvimento de códigos e normas com base no desempenho.

A discussão de critérios e parâmetros de avaliação de sistemas com base no desempenho surgiu há quase meio século na França e se difundiu rapidamente pelos países desenvolvidos, no setor da construção civil, porém sua consolidação na área da segurança contra incêndio se iniciou somente há pouco mais de dez anos. Atualmente, uma visão sistêmica do projeto de segurança contra incêndio, com base no desempenho, permite o desenvolvimento de soluções particulares para cada projeto, quando estas são necessárias e mais adequadas para solucionar um problema específico.

Tanto o COE como a regulamentação estadual de segurança contra incêndio de São Paulo possibilita a apresentação de soluções alternativas para o projeto, desde que devidamente comprovadas (por exemplo, com o uso de ferramentas computacionais, como as aqui empregadas) e aprovadas pelos respectivos órgãos. No entanto, este caminho ainda é pouco utilizado.

Saídas de emergência não podem ser pensadas isoladamente das demais questões que envolvem um projeto de segurança contra incêndio e, por vezes, merecem projetos específicos para atender situações específicas, não contempladas em códigos prescritivos. Possivelmente, os edifícios considerados os mais altos do mundo,

construídos nos últimos 40 anos, não seriam viabilizados caso precisassem atender aos critérios de dimensionamento de saídas de emergência com base nos códigos prescritivos vigentes.

Porém, é possível afirmar que a qualidade dos projetos desenvolvidos nos últimos dez anos certamente é superior às das décadas anteriores, devido à aplicação de normas com base no desempenho, com objetivos e critérios de avaliação claramente definidos. Estes vêm conquistando cada vez mais espaço e garantindo o desenvolvimento de soluções efetivas e eficazes.

Parte do desenvolvimento dessas soluções é produto de avanços científicos significativos na área de segurança contra incêndio e de sua aplicação prática, por meio de ferramentas de engenharia que foram potencializadas pela evolução tecnológica dos computadores. Cálculos e simulações, de forma rápida e a baixo custo, permitem que estudos sejam realizados considerando inúmeras variáveis, para a seleção de soluções mais adequadas.

Nesta tese, procurou-se explorar e analisar a extensão dos efeitos dos diferentes métodos de dimensionamento de saídas de emergência em edifícios altos de escritórios, primeiramente, com a ordenação dos principais parâmetros de dimensionamento de métodos prescritivos em função de duas variáveis: lotação de pavimento e altura da edificação e, posteriormente, com a realização de simulações computacionais de modelos de evacuação que adotam vários outros parâmetros que não são considerados nos métodos prescritivos.

São vários os caminhos que os estudos sobre métodos de dimensionamento de saídas de emergência podem tomar, incluindo: a) análises sobre a influência dos produtos da combustão (fumaça e gases quentes) e sua propagação no comportamento humano; b) avaliação das estratégias de abandono no dimensionamento das saídas; c) determinação de tempos de abandono seguro em função das medidas de segurança contra incêndio adotadas para a edificação, etc. Os modelos de simulação computacionais são ferramentas importantes e muito úteis nesses estudos e que

possibilitariam, principalmente para edificações com características de uso e ocupação que as classificam como de risco elevado, análises específicas e mais aprofundadas, com a finalidade de prover medidas de segurança contra incêndio mais seguras e adequadas. Como já comentado anteriormente, situações onde os usuários apresentam nível de vulnerabilidade maior aos efeitos de um incêndio ou onde existe uma alta concentração de pessoas, é imprescindível que o ambiente seja projetado de forma permitir a segurança de seus ocupantes – meta esta que pode não ser plenamente alcançada somente com o atendimento aos requisitos mínimos de regulamentações e normas prescritivas e com medidas abrangentes e genéricas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **ASTM E 662**: standard test method for specific optical density of smoke generated by solid materials. West Conshohocken, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5628**: Componentes construtivos estruturais: determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 1980.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6479**: Portas e vedadores: determinação da resistência ao fogo: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9050**: Acessibilidade a Edificações, Mobiliário, Espaços e Equipamentos Urbanos. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9077**: Saídas de emergência em edifícios: Procedimento. Rio de Janeiro, 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9442**: Materiais de Construção: determinação do índice de propagação superficial de chamas pelo método do painel radiante: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10636**: Paredes divisórias sem função estrutural: determinação da resistência ao fogo: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1989.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14323**: Dimensionamento de estruturas de aço em situação de incêndio: procedimento. Rio de Janeiro, 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14432**: Exigência de resistência ao fogo de elementos de construção de edificação: procedimento. Rio de Janeiro, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15200**: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio: procedimento. Rio de Janeiro, 2004.
- AUSTRALIAN BUILDING CODES BOARD. **International Fire Engineering Guidelines (IFEG)**, Canberra: ABCB, 2005.
- BECK, V.R.; YUNG D. The development of a risk-cost-assessment model for the evaluation of the fire safety in buildings. In: Fire Safety Science, 4., 1994, Ottawa. **Proceedings...**, Gaithersburg: International Association for Fire Safety Science, 1994, p. 817-828.

- BERTO, A. F. Gestão da segurança contra incêndio em edificações. In INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Questões Atuais de segurança contra incêndio** (apostila). São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1998.
- BERTO, A. F. **Medidas de proteção contra incêndio**: aspectos fundamentais a serem considerados no projeto arquitetônico dos edifícios. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.
- BERTO, A.F.; TOMINA, J.C. Lições do incêndio na sede administrativa da CESP. In: INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (Ed.). **Tecnologia das Edificações**. São Paulo: Pini, 1988, p.351-360.
- BLAKE, S.J.; GALEA, E.R.; WESTENG, H.; DIXON, A.J.P. An Analysis of human behavior during the WTC Disaster of 11 September 2001 based on published survivor accounts. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON HUMAN BEHAVIOUR IN FIRE, 3., 2004, Belfast. **Proceedings...** Belfast: Interscience Communications, 2004, p.181-192.
- BOTELHO, M.H.C.; FREITAS, S.A. **Código de obras e edificações do município de São Paulo**: comentado e criticado: Lei N^o 11.228 e decreto N^o 32.329 com modificações e acréscimos. 2^a edição ampliada e atualizada. São Paulo: Pini, 2008.
- BOYCE, K. E.; SHIELDS, T. J.; SILCOCK, G. W. H. Toward the Characterization of Building Occupancies for Fire Safety Engineering: Prevalence, Type, and Mobility of Disabled People. **Fire Technology**, v.35, n.1, 1999a, p.35-50.
- BOYCE, K. E.; SHIELDS, T. J.; SILCOCK, G. W. H. Toward the Characterization of Building Occupancies for Fire Safety Engineering: Capabilities of Disabled People Moving Horizontally and on an Incline. **Fire Technology**, v.35, n.1, 1999b, p.51-67.
- BOYCE, K. E.; SHIELDS, T. J.; SILCOCK, G. W. H. Toward the Characterization of Building Occupancies for Fire Safety Engineering: Capability of Disabled People to Negotiate Doors. **Fire Technology**, v.35, n.1, 1999c, p.68-78.
- BOYCE, K. E.; SHIELDS, T. J.; SILCOCK, G. W. H. Toward the Characterization of Building Occupancies for Fire Safety Engineering: Capability of People with Disabilities to Read and Locate Exit Signs. **Fire Technology**, v.35, n.1, 1999d, p.79-86.
- BRITISH STANDARD INSTITUTION. **BS 7974**: Application of fire safety engineering principles to the design of buildings: Code of practice. London, 2001.
- BRITISH STANDARD INSTITUTION. **DD 240**: Fire safety engineering in buildings. London, 1997.

- BRITISH STANDARD INSTITUTION. **PD 7974-Part 0**: Application of fire safety engineering principles to the design of buildings- Part 0: Guide to design framework and fire safety engineering procedures. London, 2002.
- BRITISH STANDARD INSTITUTION. **PD 7974-Part 6**: Application of fire safety engineering principles to the design of buildings- Part 6: Human factors: Life safety strategies – Occupant evacuation, behavior and condition (Sub-system 6). London, 2004.
- BRYAN, J.L. (2002) A Selected Historical Review of Human Behavior in Fire. Fire Protection Engineering, Number 16, Fall 2002, pp.4-16.
- BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. **Post-War Building Studies No. 19: Fire Grading of Buildings** (facsimile of the 1952 edition), Watford: Building Research Establishment, 1992.
- BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. **Post-War Building Studies, No. 29, Fire Grading of Buildings, Part III, Personal Safety**. (facsimile of the 1952 edition), London: BRE, 1992.
- BUKOWSKI, R. W., Kuligowski, Erica. **The basis for egress provisions in U.S. building codes** (disponível em <http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire04/PDF/f04031.pdf>, acessado em 07/04/2010).
- BUKOWSKI, R.W. **Emergency Egress from Buildings** (NIST Technical Note 1623), Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2009.
- CANTER, D. (Editor). **Fires and Human Behaviour**. New York: John Wiley & Sons, 1980.
- COELHO, A. L. **Modelação Matemática da Evacuação de Edifícios Sujeitos à Acção de um Incêndio**. Estado dos conhecimentos sobre o movimento e o comportamento de pessoas em edifícios e sua modelação (Volume II – Anexo) 1997. Doutorado (Tese), Universidade do Porto, Porto, 1997.
- CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Instrução Técnica Nº 5**: Segurança contra Incêndios: Urbanística. São Paulo, 2004a.
- CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Instrução Técnica Nº 6**: Acesso de viatura na edificação e áreas de risco. São Paulo, 2004b.
- CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Instrução Técnica Nº 7**: Separação entre edificações (isolamento de risco) -. São Paulo, 2004c.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Instrução**

Técnica Nº 14: Carga de incêndio nas edificações e áreas de risco. São Paulo, 2004d.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Instrução**

Técnica Nº 10: Controle de materiais de acabamento e revestimento. São Paulo, 2004e.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Instrução**

Técnica Nº 9: Compartimentação horizontal e compartimentação vertical. São Paulo, 2004f.

COSTA, C.N.; ONO, R.; SILVA, V. P. A Importância da compartimentação e suas implicações no dimensionamento das estruturas de concreto para situação de incêndio. In CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO. 47., 2005, Olinda. **Anais...**, São Paulo: IBRACON, 2005, p. III 1-26.

COTE, A.; BUGBEE, P. **Principios de Protección contra Incendios**. Madri: National Fire Protection Association / Centro Nacional de Prevención de Daños y Pérdidas, 1993.

COTÉ, R.; HARRINGTON, G.E. (Ed.) **Life Safety Code Handbook**. 11th ed., Quincy: National Fire Protection Association, 2009.

COUNCIL ON TALL BUILDINGS AND URBAN HABITAT WORLD CONGRESS. VII. 2005. New York. Renewing the Urban Landscape. **Proceedings...** Chicago: CTBUH, 2005, 1 CD-ROM.

COUNCIL ON TALL BUILDINGS AND URBAN HABITAT WORLD CONGRESS. VIII. 2008. Dubai. Tall & Green: Typology for a Sustainable Urban Future. **Proceedings...** Chicago: CTBUH, 2008, 1 CD-ROM.

COUNCIL ON TALL BUILDINGS AND URBAN HABITAT. **Emergency Evacuation -Elevator Systems Guideline**. Chicago: CTBUH, 2004.

CRAIGHEAD, G. **Highe-rise security and fire life safety**. Newton: Butterworth-Heinemann, 1996.

DINENNO, P.J. et al. **The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering**. 3rd ed., Quincy: National Fire Protection Association, 2002.

DWYER, J.; FLYNN, K. **102 minutos: a história inédita da luta pela vida nas Torres Gêmeas**. Tradução de Maria Lucia de Oliveira. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2005.

EGAN, M.D. **Concepts in building firesafety**. New York: John Wiley & Sons, 1978.

- FAHY, R. F.; PROULX, G. Collective Common Sense: A Study of Human Behavior during the World Trade Centre Evacuation. **NFPA Journal**, v. 87, n.2, March/April, 1995, p. 59-67.
- FAHY, R. F.; PROULX, G. Toward Creating a Database on Delay Times to Start Evacuation and Walking Speeds for Use in Evacuation Modeling. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON HUMAN BEHAVIOR IN FIRE, 2., 2001, Boston. **Proceedings...** Boston: MIT, 2001, p. 175-183.
- FAILLACE, R. R. **Escadas e saídas de emergência**. Porto Alegre: Sagra, 1991.
- FORNEY, G.P. **Smokeview (Version 5) – A tool for visualizing fire dynamis simulation data. Volume I: User’s Guide** (NIST Special Publication 1017-1), Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2010.
- FIRE CODE REFORM CENTRE LIMITED. **Fire Engineering Guidelines**. 1st edition, Sydney: Fire Code Reform Centre Limited, 1996.
- FRIEDMAN, R. An International Survey of Computer Models for Fire and Smoke. **Journal of Fire Protection Engineering**, v. 4, n. 3, p. 81-92, 1992.
- FRUIN, J.J. **Pedestrian Planning and Design** (revised edition). Mobile: Elevator World, 1987.
- GALEA, E. R. et al. **BuildingExodus V. 4.0 – User guide and technical manual**. London: University of Greenwich, 2004.
- GARCIA, L.E.C. **Segurança contra incêndio ao projeto arquitetônico**: Manual de Conceitos Básicos. 2006. Trabalho Final de Graduação. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2006.
- GILL, A. A.; VALENTIN, M.V.; ONO, R. Projeto de saídas de emergência em edificações: Uma análise crítica de parâmetros de dimensionamento em normas e regulamentações vigentes no Estado de São Paulo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., Florianópolis, 2006, **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2006, p. 1514-1523.
- GONÇALVES, R. O. **Segurança contra incêndio em edifícios de grande altura**. Relatório Final de Iniciação Científica. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- GWYNNE, S. M. V. The Standardization of human egress data. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON HUMAN BEHAVIOUR IN FIRE, 4., 2009, Cambridge. **Proceedings...** London: Interscience Communications, 2009, p. 481-492.

- HADDAD, W. Avaliação da eficácia de tiragem natural de fumaça de incêndio em edifícios por simulação numérica de grandes estruturas turbulentas (LES). 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- HALL Jr., J. R. **High-Rise Building Fires** (NFPA report #USS30). Quincy: NFPA, 2009.
- HORIUCHI, S. **Prevenção contra incêndio em edificações**. Tóquio: Asakura, 1994 (tradução nossa, original em japonês).
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/TR 13387**: Fire safety engineering. Geneva, 1999.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 1182**: Reaction to fire tests for buildings products: non-combustibility test. Geneva, 2002.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 23932**: Fire safety engineering: General principles. Geneva, 2009.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 6241**: Performance Standards in Buildings. Geneva, 1984.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/TR 13387-8**: Fire safety engineering; Part 8: Life safety; Occupant behaviour, location and condition. Geneva, 1999.
- JIN, T. et al. Evaluation of the Conspicuousness of Emergency Exit Signs. In: FIRE SAFETY SCIENCE, 3., 1991, Edinburgh. **Proceedings...** New York: Elsevier Applied Science, 1991, p. 835-841.
- JIN, T. Studies on Human Behavior and Tenability in Fire Smoke. FIRE SAFETY SCIENCE, 5., Melbourne, 1997. **Proceedings...** Melbourne: IAFSS, 1997, p.3-21.
- JIN, T. Visibility Through Fire Smoke. **Journal of Fire and Flammability**, v.9, p.135-157, 1978.
- JIN, T., YAMADA, T. Experimental Study of Human Behavior in Smoke Filled Corridors. In: FIRE SAFETY SCIENCE, 2., 1988, Tokyo. **Proceedings...** Washington, DC: Hemisphere Publishing, 1989, p. 511-519.
- JIN, T.; YAMADA, T. Irritating effects of fire smoke on visibility. **Fire Science and Technology**, v.5, n. 1, p. 79-90, 1985.
- KADY, R. A.; GWYNNE, S.; DAVIS, J. A review of the sources of occupant performance data used in building evacuation models. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON

- HUMAN BEHAVIOUR IN FIRE, 4., 2009, Cambridge. **Proceedings...** London: Interscience Communications, 2009, p.471-480.
- KORHONEN, T.; HOSTIKKA, S. **Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS+Evac**, Technical Reference and User's Guide (FDS 5.4.0, Evac 2.2.0), VTT Technical Research Centre of Finland, 2009.
- KULIGOWSKI, E. D. **The evaluation of a performance-based design process for a hotel building: The comparison of two egress models**. 2003. Master Dissertation. University of Maryland, College Park, 2003.
- MCGRATTAN, K.; MCDERMOTT, R.; HOSTIKKA, S.; FLOYD, J. **Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide** (NIST Special Publication 1019-5). Gaithersburg: NIST, 2010.
- MINISTÉRIO DAS CONSTRUÇÕES. **Novo guia para projeto de prevenção de sinistros em edificações**. Tóquio: The Building Center of Japan, 1985 (tradução nossa, original em japonês).
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y URBANISMO. "NBE-CPI-82". REALES DECRETOS 2059/1981 DE 10/04/1981 Y BB.OO.EE DE 18 Y 19/09/1981. MODIFICADA EN REAL DECRETO 1587/1982 DE 25/06/1982 BOE DE 21/07/1982.
- MITIDIERI, M. **Proposta de classificação de materiais e componentes construtivos com relação ao comportamento frente ao fogo**. 1988. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- MONCADA, J.A. O incêndio do Edifício Parque Central. Caracas, Venezuela. **NFPA Journal latinoamericano**. ano 7, n.1, 2005, p. 50-51.
- MUROSAKI, Y. **Segurança e prevenção de sinistros em edifícios**. Tóquio: Kajima, 1993 (tradução nossa, original em japonês).
- NATIONAL BUREAU OF STANDARDS. **Design and construction of building exits** (Miscellaneous Publication M 151), Washington: NBS, 1935.
- NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. **Federal Building and Fire Safety Investigation of the World Trade Center Disaster: Final Report on the Collapse of the World Trade Center Towers (NCSTAR 7)** Gaithersburg: NIST, 2005.
- NBS BUILDING REGULATIONS. **Approved Document B to the Building Regulations: Fire Safety**, 2006 ed., London: Department of Communities and Local Government, 2006.

- NELSON, H. E.; MOWRER, F.W. Emergency Movement (Section three, Chapter 14). In: DINENNO, P.J. et al. **SFPE Handbook of Fire Protection Engineering**, 3rd edition. Quincy: National Fire Protection Association, 2002. Section three, Chapter 14, p.3-367 to 3-380.
- NUTAU: Inovações Tecnológicas e Sustentabilidade, 2006, São Paulo. **Anais...** São Paulo: NUTAU-USP, 2006, p.31-40.
- OLDFIELD, P.F. Bridging the Gap: Proposed Evacuation Links at Height in the World Trade Center Design Entries. In: COUNCIL ON TALL BUILDINGS AND URBAN HABITAT WORLD CONGRESS. 7., 2005, New York. **Proceedings** ...Chicago: CTBUH, 2005 (CD-ROM).
- OLENICK, S.M.; CARPENTER, D.J. An Updated International Survey of Computer Models for Fire and Smoke. **Journal of Fire Protection Engineering**, v. 13, n. 2, p. 870-110, 2003.
- OMINE, E. M. **Comparação de métodos de dimensionamento de rotas de fuga em edifícios de grande altura**. 2006. Relatório Final de Iniciação Científica. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- ONO, R. Parâmetros para garantia da qualidade do projeto de segurança contra incêndio em edifícios altos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 97-113, 2007.
- ONO, R. Reabilitação sustentável de edifícios na região central da cidade de São Paulo com ênfase na segurança contra incêndio. In SEMINÁRIO INTERNACIONAL NUTAU, 2002, São Paulo. **Anais ...**, São Paulo: NUTAU, 2002, CD-ROM.
- ONO, R. **Segurança contra incêndio em edificações**: Um sistema de coleta e análise de dados para avaliação de desempenho. 1997. Tese (doutorado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- ONO, R.; VITTORINO, F. Sistema de escadas em edifícios altos: Avaliação de sua estanqueidade à fumaça em situação de incêndio. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL NUTAU: Arquitetura e Urbanismo: Tecnologias para o Século XXI. 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo: NUTAU, 1998, CD-ROM.
- ONO, R.; VALENTIN, M.V. A study on evacuation of school buildings for elementary education. In: HUMAN BEHAVIOUR IN FIRE SYMPOSIUM, 4., 2009, Cambridge. **Proceedings...** London: Interscience Communications, 2009, pp.231-242.
- QUELLETTE, M.J.; REA, M.S. **Illuminance Requirements for Emergency Lighting** (Reprinted from Journal of the Illuminating Engineering Society, vol. 18, No. 1, 1989, p. 37-42 - IRC Paper No. 1843), Ottawa: National Research Council Canada, 1989.

- PAULS, J. L. (1980) Building Evacuation: Research Findings and Recommendations. In: CANTER, D. (Ed.) **Fires and Human Behaviour**, New York: John Wiley and Sons, p. 251-275.
- PAULS, J. L.; JONES, B.K. (1980) Building Evacuation: Research Methods and Case Studies. In: CANTER, D. (Ed.) **Fires and Human Behaviour**, New York: John Wiley and Sons, p.227-249.
- PAULS, J. Linking Means of Egress Systems and Emergency Response Strategies. In: COUNCIL ON TALL BUILDINGS AND URBAN HABITAT WORLD CONGRESS. 7., 2005, New York. **Proceedings** ...Chicago: CTBUH, 2005 (CD-ROM).
- PAULS, J.L. **Management and movement of building occupants in emergencies** (Reprinted from Proceedings of the Second Conference on Designing to Survive Severe Hazards, IIT Research Institute, Chicago, 1-3 November 1977, p.103-130), NRC #16845, Ottawa: National Research Council Canada, 1978.
- PAULS, J.L. The Movement of People in Buildings and Design Solutions for Means of Egress. **Fire Technology**, v. 20, n.1, p.27-47, 1984.
- PAULSON, T. The Effect of Escape Route Information on Mobility and Wayfinding Under Smoke-Logged Conditions. In: FIRE SAFETY SCIENCE, 4., 1994, Ottawa. **Proceedings**... Ottawa: International Association of Fire Safety Science, 1994, p. 693-704.
- PEACOCK, R. D.; KULIGOWSKI, E.D. (Editors). **Workshop on Building Occupant Movement During Fire Emergencies** (NIST Special Publication 1032), Gaithersburg: NIST, 2005.
- PREDTECHSNKII, V.M.; MILINSKII, A.I. **Planning for Foot Traffic Flow in Buildings**. New Delhi: Amerind Publishing, 1978.
- PROULX, G. Movement of People: Evacuation Timing. In: DINENNO, P.J. et al. **SFPE Handbook of Fire Protection Engineering**, 3rd edition. Quincy: National Fire Protection Association, 2002. Section three, Chapter 13, p.3-342 to 3-366.
- PROULX, G., REID, I.M.A. E CAVAN, N.R. **Human Behavior Study: Cook County Administration Building Fire – October 17, 2003 – Chicago, IL**. (Research Report No 181). Ottawa: National Research Council Canada, 2004.
- PROULX, G.; FAHY, R. F. (2004). Account analysis of WTC survivors. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON HUMAN BEHAVIOUR IN FIRE, 3., 2004, Belfast. **Proceedings**... London: Interscience Communications, 2004, p.203-214.
- PROULX, G.; FAHY, R. F. (2009). Occupant response and evacuation at the Station Nightclub fire: An analysis of witness statements. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM

- ON HUMAN BEHAVIOUR IN FIRE, 4., 2009, Cambridge. **Proceedings...** London: Interscience Communications, 2009, p.633-637.
- PROULX, G.; KYLE, B. AND CREAK, J. Effectiveness of a Photoluminescent Wayguidance System. **Fire Technology**, v. 36, n.4, p.236-248, 2000.
- PUCHOVSKY, M. Developing performance-based documents one step at a time. **NFPA Journal**, Quincy, v. 90, n. 1, p.46-49, 1996.
- PURSER, D.A.; BENSILUM, M. Quantification of behavior for engineering design standards and escape time calculation. **Safety Science**, v.38, p.157-182, 2001.
- PURSER, D.A.; BOYCE, K. Implications of modelling and experimental studies of evacuation behaviour on stairs for multistorey building design. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON HUMAN BEHAVIOUR IN FIRE, 4., 2009, Cambridge. **Proceedings...** London: Interscience Communications, 2009, p.147-160.
- ROSSO, T. **Incêndios e Arquitetura**. São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 1975.
- SANTOS, G. ; AGUIRRE, B. E. A Critical Review of Emergency Evacuation Simulation Models. In: PEACOCK. R.D.; KULIGOWSKI, E.D. **Workshop on Building Occupant Movement During Fire Emergencies**. NIST Special Publication 1032. Gaithersburg: NIST, 2005.
- SÃO PAULO (Estado). **Regulamento de segurança contra incêndio das edificações e áreas de risco**: Decreto Estadual no 46.076/01. São Paulo: Corpo de Bombeiros, 2005.
- SEITO, A. I. **Metodologia de análise de risco de incêndio**. 1995. Dissertação (mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.
- SEITO, A. I.; BERTO, A. F. Fumaça no incêndio – Escadas de segurança. In: INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (Ed.). **Tecnologia das Edificações**. São Paulo: Pini, 1988, p. 385-390.
- SENA, L. F. Avaliação do dimensionamento de saídas de emergência e tempo de abandono de edificações utilizando método de simulação computacional. 2009. Relatório Final de Iniciação Científica. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- SHIMSHONI, J. Tall Building Emergency Evacuation: “Time to think differently”. In: COUNCIL ON TALL BUILDINGS AND URBAN HABITAT WORLD CONGRESS. 7., 2005, New York. **Proceedings ...** Chicago: CTBUH, 2005 (CD-ROM).

- SIME, J. (1980). The Concept of Panic. In: CANTER, D. (Ed.) **Fires and Human Behaviour**, New York: John Wiley and Sons, p.63-81.
- SIME, J. D. Perceived Time Available: The Margin of Safety in Fires. In: FIRE SAFETY SCIENCE, 1., Gaithersburg, 1984. **Proceedings...** New York: Hemisphere Publishing, 1986, p.561-569.
- SOLOMON, R. Measuring Optimum and Code-Plus Design Criteria for the High-Rise Environment. In: COUNCIL ON TALL BUILDINGS AND URBAN HABITAT WORLD CONGRESS. 8., 2005, Dubai. **Proceedings ...**Chicago: CTBUH, 2008 (CD-ROM).
- TANAKA, T. **Introdução à Engenharia da Segurança contra Incêndio em Edificações**. Tokyo: The Building Center of Japan, 2002 (tradução nossa, original em japonês).
- TEMPLER, J. **The Staircase: Studies of Hazards, Falls, and Safer Design**. Cambridge: MIT Press, 1994.
- THE UNIVERSITY OF CHICAGO. **Encyclopaedia Britannica** (v. 9). Chicago: Encyclopaedia Britannica Inc., 1949.
- TUBBS, J.; MEACHAM, B. Selecting appropriate evacuation strategies for super tall buildings: Current challenges and needs. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON HUMAN BEHAVIOUR IN FIRE, 4., 2009, **Proceedings...** London: Interscience Communications, 2009, p. 41-40.
- VALENTIN, M. V. **Saídas de emergência em edifícios escolares**. 2008. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- VALENTIN, M.V.; ONO, R. **Saídas de emergência e comportamento humano: Uma abordagem histórica e o estado atual da arte no Brasil**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL NUTAU 2006, **Anais**, São Paulo: NUTAU-USP, 2006.
- VEERASWAMY, A.; LAWRENCE, PETER J.; GALEA, E.R. Implementation of cognitive mapping, spatial representation and wayfinding behaviours of people within evacuation modeling tools. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON HUMAN BEHAVIOUR IN FIRE, 4., 2009, Cambridge. **Proceedings...** London: Interscience Communications, 2009, p. 501 – 512.
- WATTS, J.M. Jr. Probabilistic Fire Models. In: COTE A.E. (ed.). **Fire Protection Handbook**, 18th ed., Quincy: National Fire Protection Association, 1997, p. 11.62-11.69.
- WOOD, P.G. (1980) A survey of Behaviour in Fires. In: CANTER, D. (Ed.) **Fires and Human Behaviour**, New York: John Wiley and Sons, p. 83-96.