

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
ÁREA: RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL

**SAÍDAS DE EMERGÊNCIA HORIZONTAIS EM LOCAIS DE REUNIÃO DE
PÚBLICO. ESTUDO DE CASOS NA CIDADE DE CAMPINA GRANDE-PB**

DIEGO DE SOUZA MARTINS

CAMPINA GRANDE – PB

2016

DIEGO DE SOUZA MARTINS

**SAÍDAS DE EMERGÊNCIA HORIZONTAIS EM LOCAIS DE REUNIÃO DE
PÚBLICO. ESTUDO DE CASOS NA CIDADE DE CAMPINA GRANDE-PB**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Orientadora: Prof.^a Dr^a. Andréa Carla Lima Rodrigues

Co-orientador: Dr. George Cajaty Barbosa Braga

CAMPINA GRANDE – PB

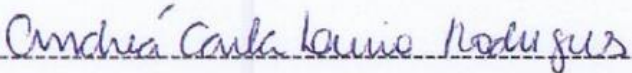
2016

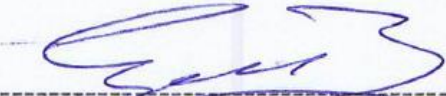
DIEGO DE SOUZA MARTINS


SAÍDAS DE EMERGÊNCIA HORIZONTAIS EM LOCAIS DE REUNIÃO DE PÚBLICO. ESTUDO DE CASOS NA CIDADE DE CAMPINA GRANDE-PB

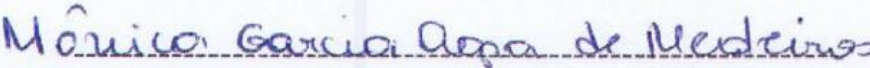
Dissertação apresentada em 26 de agosto de 2016.

COMISSÃO EXAMINADORA


Prof. Andréa Carla Lima Rodrigues – Dra.


Prof. George Cajaty Barbosa Braga – Dr.


Prof. Fernando Fernandes Vieira – Dr.


Prof. Mônica Garcia de Agra Medeiros – Dra.

CAMPINA GRANDE – PB

2016

*Dedico este trabalho ao meu pai Antonio
e a minha mãe Marluce por todo estímulo
e paciência nessa etapa da minha vida.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela presença constante em minha vida e pela oportunidade de concretização deste sonho.

À minha família, em especial ao meu pai Antonio e à minha mãe Marluce, por todo apoio e incentivo para que eu pudesse continuar nessa caminhada.

À minha orientadora, Prof.^a Andréa, pela sua competência, estímulo, orientação e confiança para realização deste trabalho.

Ao meu co-orientador, coronel George, pela enorme disponibilidade em colaborar com esta pesquisa com seus vastos conhecimentos e experiência.

Aos membros da banca examinadora pela dedicação de seu tempo na contribuição deste trabalho.

À minha namorada Maria Jucélia pelo imprescindível apoio na reta final deste trabalho e pela paciência.

A todos os professores, funcionários e colegas do programa de pós-graduação.

Aos amigos Dayvison, Dyego, Laio e Marlon pela parceria acadêmica e etílica.

Aos colegas do Corpo de Bombeiros Militar da Paraíba que de alguma forma contribuíram para o êxito desta pesquisa.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a elaboração deste estudo.

Muito Obrigado!

RESUMO

Este trabalho realiza um estudo sobre parâmetros relativos à evacuação em locais de reunião de público e as normas atinentes a saídas de emergência e seu caráter eminentemente prescritivo, buscando avaliar sua contemporaneidade diante das mudanças advindas do processo evolutivo das construções e das mudanças sociais. Os locais de aglomeração seja com fins econômicos, religiosos, entretenimento ou outros, sempre são considerados áreas de risco elevado devido à alta densidade populacional e ao fato das pessoas não possuírem familiaridade com o ambiente. Somando-se a isso, os recentes desastres ocorridos em boates, casas de show ou similares com elevada quantidade de mortos, causados por incêndios, terrorismo ou causas diversas reforçam a preocupação para que estes locais tenham condições de permitir uma evacuação rápida e segura. Para o desenvolvimento da pesquisa foram selecionadas três edificações localizadas na cidade de Campina Grande e essas foram vistoriadas com vistas à verificação do cumprimento da legislação vigente e para a obtenção de dados que pudessem subsidiar uma modelagem computacional. As simulações utilizaram o software de abandono *Pathfinder* que propicia dois modos de simulação, o SFPE e o *Steering*, tendo o primeiro uma metodologia bem semelhante à utilizada pelas normas e o segundo, um modelo que se aproxima mais do comportamento esperado para as pessoas numa situação real. Para as simulações utilizou-se a arquitetura original e a real das edificações, sendo a original obtida através dos projetos de segurança contra incêndio e a real das vistorias *in loco*. Além disso, analisaram-se outras situações como a influência do mobiliário, posicionamento das saídas e obstrução das mesmas. Com o software obtiveram-se dados de tempo de evacuação, fluxo específico, taxa de fluxo e da dinâmica de evacuação através da visualização do movimento dos ocupantes, sendo possível identificar locais de congestionamento, gargalos e obstáculos. As conclusões mostram que o nível de segurança propiciado pelas normas de saídas de emergência não é o esperado, mesmo naquelas que passaram por recente atualização, como é o caso das normas de muitos estados, fruto de uma revisão simplesmente prescritiva, sem propiciar condições ao desenvolvimento de soluções inovadoras, econômicas e principalmente mais seguras. Associa-se a este fato, uma carência de cultura de prevenção dos responsáveis pelos estabelecimentos que realizam modificações em suas edificações sem se preocupar com a segurança dos seus ocupantes.

Palavras chave: Evacuação de edifícios, locais de aglomeração, simulação computacional.

ABSTRACT

This paper accomplishes a study of parameters relating to the evacuation in public meeting places and norms existing concerning to emergency exits and its highly prescriptive, seeking out to evaluate their contemporary view of the changes resulting from the evolutionary process of building and social change. The agglomeration sites for economic purposes, religious, entertainment or other. Are always considered high risk areas due to the high population density and the fact that people do not have familiarity with the environment. Adding to this, the recent disasters in nightclubs, clubs or similar with high amount of deaths caused by fires, terrorism or several causes reinforce the concern that these places are able to allow rapid and safe evacuation. For the development of the research were selected three buildings located in the city of Campina Grande and these were inspected with a view to verifying compliance with current legislation and to obtain data that could support a computational modeling. The simulations used the Pathfinder abandonment software that provides two simulation modes, SFPE and the steering, having the first a very similar methodology to that used by the norms and the second, a model that is closer to the expected behavior for people in a situation real. For the simulations was used the original architecture and real of the buildings, being the original obtained through security projects against fire and the real of on-site inspections. Moreover, other conditions such as the influence of furniture were analyzed, positioning the exits and obstruction the same. With software were obtained evacuation time, specific flow, flow rate and dynamic evacuation by occupant movement of the display, and can identify congestion places obstacles and bottlenecks. The conclusions show that the level of security afforded by the emergency exit norms is not expected, even in those who have undergone recent update, such as the rules of many states, the result of a purely prescriptive revision, without providing conditions for the development of innovative solutions, economic and mainly secure. It is associated to this fact, a lack of prevention culture of responsible for the establishments performing modifications in their buildings without worrying about the safety of its occupants.

Keywords: Evacuation of buildings, Assembly occupancies, computer simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Tempos para evacuação da edificação.....	28
Figura 2: Fluxograma das etapas utilizadas para o desenvolvimento da pesquisa...	33
Figura 3: Croqui da Edificação A.....	38
Figura 4: Croqui da Edificação B.....	40
Figura 5: Croqui da Edificação C.....	42
Figura 6: Planta de cobertura.	43
Figura 7: Gráfico do número de pessoas evacuadas por saídas x Tempo para Simulação 1 – Estudo A.	52
Figura 8 – Dinâmica da Simulação 1 – Número de pessoas (p) evacuadas e tempo de desocupação (s): (a) 819p e 0s, (b) 26p e 15s, (c) 109p e 30s, (d) 649p e 120s.	53
Figura 9 – Gráfico do número de ocupantes esperando na fila para Simulação 1 – Estudo 1.	54
Figura 10: Gráfico do número de pessoas evacuadas por saídas x Tempo para Simulação 2 – Estudo A.	57
Figura 11: Imagens da Simulação 2 – Estudo A.	58
Figura 12: Imagem representativa da arquitetura da edificação A.	60
Figura 13: Simulações 1 (a) e 3 (b) no tempo de 15s – Estudo A.	62
Figura 14: Gráfico comparativo das Simulações 2 e 4 (Número de Pessoas evacuadas x Tempo).	64
Figura 15: Simulações 2 (a) e 4 (b) no tempo de 30s.	64
Figura 16: Fotos da vistoria da edificação A.....	66
Figura 17: Representação da edificação A como verificado in loco.	67
Figura 18: Gráfico do número de pessoas evacuadas por saídas x Tempo para Simulação 5 – Estudo A.	68
Figura 19: Gráfico do número de ocupantes esperando na fila para Simulação 5 – Estudo A.....	69
Figura 20: Gráfico do número de pessoas evacuadas por saídas x Tempo para Simulação 6 – Estudo A.	71
Figura 21: Representação da formação de arcos no entorno das saídas da simulação 6 – Estudo A.....	72
Figura 22: Fotos da edificação B quando da vistoria.....	74
Figura 23: Portas da edificação B.	75
Figura 24: Gráfico do número de pessoas evacuadas por saídas x Tempo, para Simulação 1 – Estudo B.	77
Figura 25: Gráfico do número de ocupantes esperando na fila para Simulação 1 – Estudo B.....	78
Figura 26: Simulação 1 no tempo de 29s - Estudo B.	78
Figura 27: Gráfico do número de pessoas evacuadas por saídas x Tempo, para Simulação 2 – Estudo B.	80
Figura 28: Ocupantes se deslocando para saídas 1 e 2, nos tempos de 41s (a) e 58s (b).....	81

Figura 29: Simulação com população baseada na NBR 9077 (a) sem mobiliário e (b) com mobiliário e simulação com população baseada na NT CBMPB 12 (c) sem mobiliário e (d) com mobiliário.....	82
Figura 30:Gráfico do número de pessoas evacuadas por saídas x Tempo, para Simulação 3 – Estudo B.	83
Figura 31: Gráfico do número de ocupantes esperando na fila para Simulação 3 – Estudo B.....	84
Figura 32: Gráfico do número de pessoas evacuadas por saídas x Tempo, para Simulação 4 – Estudo B.	85
Figura 33:Imagens das portas de emergência da edificação B.....	86
Figura 34: Representação da distancia entre as portas.	88
Figura 35:Gráfico do número de pessoas evacuadas por saídas x Tempo, para Simulação 5 – Estudo B.	88
Figura 36:Gráfico do número de pessoas evacuadas por saídas x Tempo, para Simulação 6 – Estudo B.	89
Figura 37: Imagens da simulação 5 e 6 do Estudo B.	90
Figura 38: Documentário fotográfico da edificação C.....	93
Figura 39:Gráfico do número de pessoas evacuadas por saídas x Tempo, para Simulação 1 – Estudo C.....	95
Figura 40:Gráfico comparativo do número de ocupantes esperando na fila para Simulação 1 – Estudo B e C.....	96
Figura 41:Gráfico do número de pessoas evacuadas por saídas x Tempo, para Simulação 2 – Estudo C.....	97
Figura 42:Simulação 2 da edificação B com 445 ocupantes (a) e simulação 2 da edificação C com 462 ocupantes (b) ambas no tempo de 30s.....	97
Figura 43:Edificação C com e sem mobiliário, para diferentes quantidade de ocupantes.....	99
Figura 44:Imagem da distribuição das mesas na edificação C.	100
Figura 45:Gráfico do número de pessoas evacuadas por saídas x Tempo, para Simulação 3 – Estudo C.....	101
Figura 46:Gráfico do número de ocupantes esperando na fila para Simulação 3 – Estudo C.....	101
Figura 47: Gráfico do número de pessoas evacuadas por saídas x Tempo, para Simulação 4 – Estudo C.....	102
Figura 48:Gráfico do número de pessoas evacuadas por saídas x Tempo, para Simulação 5 – Estudo C.....	104
Figura 49: Gráfico comparativo das simulações 4 e 6, Número de Pessoas evacuadas x Tempo – Estudo C.	106

LISTA DE TABELA

Tabela 1: Tempo de evacuação da Simulação 1 – Estudo A.....	51
Tabela 2: Fluxos Específicos da simulação 1 - – Estudo A.....	55
Tabela 3: Tempo de evacuação da Simulação 2 – Estudo A.....	56
Tabela 4: Fluxos Específicos da simulação 2 – Estudo A.....	60
Tabela 5 - Tempo de evacuação da Simulação 3 – Estudo A.....	62
Tabela 6 - Tempo de evacuação da Simulação 4 – Estudo A.....	63
Tabela 7: Fluxos Específicos da simulação 4 – Estudo A.....	65
Tabela 8: Tempo de evacuação da Simulação 5 – Estudo A.....	67
Tabela 9: Fluxos Específicos da simulação 5 – Estudo A.....	69
Tabela 10: Fluxos Específicos da simulação 6 – Estudo A.....	70
Tabela 11: Fluxos Específicos da simulação 6 – Estudo A.....	72
Tabela 12:Tempo de evacuação da Simulação 1 – Estudo B.....	76
Tabela 13:Fluxos Específicos da simulação 1 – Estudo B.....	79
Tabela 14:Tempo de evacuação da Simulação 2 – Estudo B.....	79
Tabela 15:Taxa de Fluxo e Fluxo Específico da simulação 2 – Estudo B.....	81
Tabela 16:Tempo de evacuação da Simulação 3 – Estudo B.....	82
Tabela 17:Taxa de Fluxo e Fluxo Específico da simulação 3 – Estudo B.....	84
Tabela 18:Tempo de evacuação da Simulação 4 – Estudo B.....	85
Tabela 19: Taxa de Fluxo e Fluxo Específico da simulação 4 – Estudo B.....	85
Tabela 20: Tempo de evacuação da Simulação 5 – Estudo B.....	87
Tabela 21: Taxa de Fluxo e Fluxo Específico da simulação 5 – Estudo B.....	88
Tabela 22: Tempo de evacuação da Simulação 6 – Estudo B.....	89
Tabela 23: Taxa de Fluxo e Fluxo Específico da simulação 6 – Estudo B.....	89
Tabela 24:Tempo de evacuação da Simulação 1 – Estudo C.....	94
Tabela 25:Fluxos Específicos da simulação 1 – Estudo C.....	96
Tabela 26:Tempo de evacuação da Simulação 2 – Estudo C.....	97
Tabela 27: Taxa de Fluxo e Fluxo Específico da simulação 2 – Estudo C.....	98
Tabela 28:Tempo de evacuação da Simulação 3 – Estudo C.....	100
Tabela 29:Taxa de Fluxo e Fluxo Específico da simulação 3 – Estudo C.....	100
Tabela 30:Tempo de evacuação da Simulação 4 – Estudo C.....	102
Tabela 31:Taxa de Fluxo e Fluxo Específico da simulação 4 – Estudo C.....	102
Tabela 32:Tempo de evacuação da Simulação 5 – Estudo C.....	103
Tabela 33: Taxa de Fluxo e Fluxo Específico da simulação 5 – Estudo C.....	103
Tabela 34: Tempo de evacuação da Simulação 6 – Estudo C.....	106
Tabela 35: Taxa de Fluxo e Fluxo Específico da simulação 6 – Estudo C.....	107

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Exemplos de tragédias associadas a locais de reunião de público.	18
Quadro 2: Vantagens e desvantagens dos códigos prescritivos e de desempenho.	21
Quadro 3: Classificação dos locais de reunião de público.	25
Quadro 4: Parâmetros para cálculo de população e largura de saídas de emergência em locais de reunião de público.	26
Quadro 5: Características da Edificação A.	38
Quadro 6: Características da Edificação B.	41
Quadro 7: Características da Edificação C.	43
Quadro 8: Simulações para a edificação A.	48
Quadro 9: Simulações para a edificação B.	48
Quadro 10: Simulações para a edificação C.	49
Quadro 11: Dados de entrada do Estudo A.	50
Quadro 12: Dados de entrada do Estudo B.	75
Quadro 13: Dados de entrada do Estudo C.	94
Quadro 14: Largura (dimensão mínima de vão de luz) de portas de rota de fuga.	104
Quadro 15: Cálculo da largura útil em Portugal.	105

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2º BBM: 2º Batalhão de Bombeiros Militar

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

CAT: Centro de Atividades Técnicas

CBMPB: Corpo de Bombeiros Militar da Paraíba

CBPMSP Corpo de Bombeiros da Polícia Militar de São Paulo

EUA: Estados Unidos da América

F_e: Fluxo Específico

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

m: metro

NBR 9077 – Norma Brasileira de saídas de emergência em edificações

NBR: Norma Brasileira da ABNT

NFPA: National Fire Protection Association – Associação Nacional De Proteção Ao Fogo dos EUA

NIST: National Institute of Standards and Technology - Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia dos EUA

NT CBMPB 04 - Norma Técnica do Corpo de Bombeiros Militar da Paraíba sobre Classificação das edificações

NT CBMPB 12 – Norma Técnica do Corpo de Bombeiros Militar da Paraíba sobre Saídas de emergência

NT CBMPB: Norma Técnica do Corpo de Bombeiros Militar da Paraíba

NTCB CBMMT n° 06/2016 - Norma Técnica do Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Mato Grosso

PSCI: Projeto de segurança contra Incêndio

s: segundo

SCI: Segurança contra Incêndio.

SFPE: SOCIETY OF FIRE PROTECTION ENGINEERS - Sociedade de Engenheiros PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIOS

UP: Unidade de passagem

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1	A evolução da segurança contra incêndio (SCI) no cenário mundial	17
2.2	Aspectos Legais da segurança contra incêndio	19
2.2.1	Legislação baseada em parâmetros prescritivos e de desempenho	20
2.3	Saídas de emergência: uma medida de segurança contra incêndio	22
2.3.1	Estudo das saídas de emergência em locais de reunião de público	24
2.3.2	Outros conceitos associadas ao estudo das saídas de emergência	26
2.4	Modelos computacionais.....	29
2.4.1	Descrição do software Pathfinder	30
3	METODOLOGIA	33
3.1	Estudo das edificações	34
3.1.1	Breve caracterização da cidade onde estão inseridas as edificações ...	34
3.1.2	Critérios adotados para seleção das edificações.....	34
3.1.3	Caracterização das edificações conforme PSCI.....	36
3.1.4	Caracterização das edificações após vistoria <i>in loco</i>	44
3.1.5	Comparação entre os dados de projeto e da vistoria	44
3.2	A modelagem matemática.....	45
3.2.1	Dados de entrada do modelo	45
3.3	Elaboração de cenários para as edificações estudadas	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	50
4.1	Estudo A.....	50
4.1.1	Simulação 1: Geometria de PSCI, no modo SFPE e sem mobiliário.	50
4.1.2	Simulação 2: Geometria de PSCI, no modo Steering e sem mobiliário.	56
4.1.3	Simulação 3: Geometria de PSCI, no modo SFPE e com mobiliário.	61
4.1.4	Simulação 4: Geometria de PSCI, no modo Steering e com mobiliário.	63
4.1.5	Simulação 5: Geometria real, no modo SFPE e sem mobiliário.	65
4.1.6	Simulação 6: Geometria real, no modo Steering e sem mobiliário.	70
4.2	Estudo B.....	73
4.2.1	Simulação 1: Geometria de PSCI, com população de NBR e no modo SFPE	75
4.2.2	Simulação 2: Geometria de PSCI, com população de NBR e no modo Steering.	79

4.2.3	Simulação 3: Geometria de PSCI, com população de NT 12 e no modo SFPE	82
4.2.4	Simulação 4: Geometria de PSCI, com população de NT 12 e no modo Steering.	84
4.2.5	Simulação 5: Geometria de PSCI, com população de NBR, no modo Steering com a saída 3 bloqueada.	86
4.2.6	Simulação 6: Geometria de PSCI, com população de NBR, no modo Steering com a saída 2 bloqueada	89
4.3	Estudo C	91
4.3.1	Simulação 1: Geometria e população de PSCI e no modo SFPE.	94
4.3.2	Simulação 2: Geometria e população de PSCI e no modo Steering.	96
4.3.3	Simulação 3: Geometria de PSCI, com população da NBR e no modo SFPE.	98
4.3.4	Simulação 4: Geometria de PSCI, com população da NBR e no modo Steering.	102
4.3.5	Simulação 5: Geometria Real, com população de NBR e no modo Steering.	103
4.3.6	Simulação 6: Geometria Real, com população de NBR, no modo Steering com 2/3 dos ocupantes saindo pela entrada principal.	105
5	CONCLUSÃO	108
	REFERÊNCIAS	111

1 INTRODUÇÃO

Em 2003, 21 pessoas morreram e 57 pessoas ficaram feridas na danceteria E2 em Chicago - EUA, sendo que a maior parte das mortes ocorreu por esmagamento, devido à pressão exercida pela multidão de pessoas que fugiam da edificação depois que seguranças usaram spray de pimenta para encerrar uma briga. Em janeiro de 2013 um incêndio trágico na boate Kiss em Santa Maria, interior do Estado do Rio Grande do Sul foi responsável pela morte de 242 pessoas (MORAES, 2014). Na França, 112 pessoas morreram na boate Bataclan depois de atentado terrorista em novembro de 2015 (CRAVEIRO, 2016). Todos os casos citados têm em comum o fato de ocorrerem em edificações classificadas como de reunião de público e que, o adequado dimensionamento de saídas de emergência poderia ter colaborado sensivelmente para redução da quantidade de mortes ou até para a não ocorrência delas.

Os locais de aglomeração, independente de suas características construtivas ou finalidade, apresentam intrinsecamente risco elevado devido à alta quantidade de pessoas reunidas. A principal medida de segurança para diminuir o risco de desastres, independente da causa deste, é a existência de saídas de emergência que possibilitem um abandono rápido e seguro.

Historicamente a maioria dos sinistros que demandam uma rápida evacuação estão relacionados a incêndios, sendo este o motivo para as saídas de emergência serem incluídas como medidas de segurança contra incêndio. Cada estado do Brasil tem seu regramento próprio atinente ao dimensionamento das rotas de fuga, e quando não possuem, geralmente seguem a norma brasileira NBR 9077.

Com a característica de serem baseados nas experiências do passado, tais regramentos ficaram conhecidas como códigos prescritivos e dizem como alcançar a segurança contra incêndio sem deixar claro quais são as intenções destas recomendações sugeridas, por vezes, aumentando o custo dos projetos sem garantir o nível de segurança almejado (TAVARES; SILVA; DUARTE, 2002).

A recente tragédia na boate Kiss motivou a revisão das normas de segurança contra incêndio de todo o país, principalmente as que tratam de saídas de emergência para locais de reunião de público, existindo inclusive, em tramitação no Congresso nacional, um projeto de lei sobre o assunto.

No entanto, observa-se que tais legislações, de uma forma geral, ainda baseiam-se em critérios eminentemente prescritivos, sendo necessário avançar em pesquisas que possibilitem a associação de parâmetros baseados em desempenho, a exemplo dos estudos utilizando modelos matemáticos. Essa associação permite o avanço tecnológico e conseqüentemente, a o aumento da segurança e o equilíbrio da relação custo-benefício.

1.1. OBJETIVOS

Objetivo Geral

Este trabalho teve o objetivo de avaliar os aspectos relacionados às saídas de emergência em edificações de reunião de público, com realização de estudo de casos na cidade de Campina Grande-PB.

Objetivos Específicos

- Pesquisar as origens das normas de segurança contra incêndio e seu alicerce prescritivo em detrimento de fatores baseados no desempenho.
- Estudar os parâmetros de dimensionamento de saídas de emergência e o processo de abandono de uma edificação.
- Averiguar o cumprimento dos preceitos normativos através de vistorias in loco em locais de reunião de público.
- Simular cenários, com o auxílio de modelo matemático, com vistas à obtenção do tempo e da dinâmica de evacuação nas edificações estudadas.
- Avaliar a capacidade das normas vigentes de fornecer rotas de fuga seguras, com base nos resultados das simulações.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A evolução da segurança contra incêndio (SCI) no cenário mundial

Os principais objetivos da segurança contra incêndio são a minimização do risco à vida e a redução da perda patrimonial. Sendo o risco à vida, a exposição severa à fumaça ou ao calor dos usuários da edificação e desabamento de elementos construtivos sobre os usuários ou a equipe de combate (SILVA, 2012).

Segundo Ono (2007), a segurança contra incêndio está associada ao risco de ocorrência de eventos que levem perigo as pessoas e aos bens, podendo-se inferir que ela seria obtida com a isenção total dos riscos. Sendo, na prática, impossível eliminar o risco, a segurança contra incêndio pode ser entendida como o conjunto de medidas de proteção que devem estar compatibilizadas e racionalmente integradas, medidas estas que minimizariam o risco.

Para Meacham (2014), a engenharia de segurança contra incêndio tornou-se amplamente aceita em todo o mundo. Engenheiros de segurança contra incêndio estão envolvidos em grandes projetos de construção e infraestrutura, permitindo a concepção, construção e ocupação de edifícios surpreendentes. Com redução de riscos e níveis aceitáveis de segurança.

A segurança contra incêndio é uma área do conhecimento humano e tem seu desenvolvimento marcado por muitas perdas de vidas. Os incêndios trouxeram muitos aprendizados, que foram postos em prática, em ritmos diferentes pelos diversos países.

Conforme Gill (2008), nos Estados Unidos da América (EUA), mesmo antes de ocorrerem incêndios com grande perda de vidas, a SCI já era difundida, porém com ênfase na proteção ao patrimônio, muito em decorrência da influência das companhias de seguro.

Ainda segundo o autor o marco divisório na segurança contra incêndio dos EUA aconteceu, no início do século XX, após ocorrerem quatro grandes incêndios com vítimas: o Teatro Iroquois, em Chicago (1903) com 600 mortos; a Casa de Ópera Rhoads, Boyertown, Pensilvânia (1908), com 170 mortes;

Escola Elementar Collinwood em Lake View, (1908), com 175 mortes e Triangle Shirtwaist Factory, Nova Iorque (1911), com 146 pessoas mortas. Depois desses grandes incêndios, houve uma mudança de foco, passando a ser prioridade a proteção à vida.

Já no Brasil, segundo Claret (2011) a preocupação com a segurança contra incêndio foi impulsionada pelos grandes incêndios ocorridos a partir da década de 1970. O Edifício Andraus (1972) com 16 mortos, edifício Joelma (1974) com 179 mortos e o edifício grande Avenida (1981) com 17 mortos todos ocorridos em São Paulo (Silva, 2012).

Os grandes incêndios ocorridos no Brasil e no mundo no século passado, chamaram a atenção de toda a sociedade pelo seu poder de destruição e, principalmente, pelas mortes resultantes. A partir desses grandes desastres foram criados os códigos de segurança contra incêndio.

Apesar do notório avanço mundial e brasileiro em relação à SCI, os desastres continuam ocorrendo, seja qual for a causa, com elevados número de mortes, principalmente em locais de reunião de público como pode ser observado no Quadro 1.

Quadro 1: Exemplos de tragédias associadas a locais de reunião de público.

Data	Local	Denominação/ Uso	Provável Causa	Vítimas
Out./1998	Gotenburgo, Suécia	Discoteca	Incêndio	63 mortos
Fev./2003	Chicago, EUA	E2 - Clube noturno	Esmagamento em decorrência de	21 mortos e 57 feridos
Fev./2003	Rhode Island, Estados Unidos	The Station - Clube Noturno	Incêndio	100 mortos e 200 feridos
Dez./2004	Buenos Aires/Argentina	Discoteca/ Cromagnón	Incêndio	194 mortos e centenas de feridos
Jan./2013	Santa Maria/Brasil	Boate Kiss	Incêndio	242 mortos e 500 feridos
Out./2015	Bucareste/ Romênia	Boate Colectiv	Incêndio	30 mortos e 200 feridos
Nov./2015	Paris/França	Boate Bataclan	Ataque terrorista	70 mortos
Jun./2016	Orlando/Estados Unidos	Casa noturna Pulse	Ataque terrorista	50 mortos e 53 feridos
Ago./2016	Rouen/França	Bar Au Cuba Libre	Incêndio	13 mortos e 6 feridos

Fonte: Adaptado de Moraes (2016).

2.2 Aspectos Legais da segurança contra incêndio

Nos EUA, em 1914, a quinta edição do Manual de Proteção Contra Incêndios passa a ser considerado um marco divisório, pois nesse momento ampliava-se a missão da Associação Nacional de Proteção contra o Fogo (NFPA) para a proteção de “vidas” e não somente de propriedades, lançando-se as bases para o Código de Segurança da Vida denominado NFPA 101 (Gill, 2008).

No Brasil, foi na década de 1970 que, efetivamente, se passou a ver a proteção a vida como sendo mais importante que a proteção ao patrimônio, como já vinha sendo tratado em outros países.

Na Paraíba, em 1973, foram estabelecidas as Normas de Prevenção e Combate a Incêndios, as primeiras do gênero no país, através do Decreto nº 5.792, com a finalidade de determinar o mínimo necessário para as edificações do Estado, no que concerne às instalações preventivas contra incêndios.

No ano de 1974 foi redigida a primeira norma técnica da ABNT que tratava do assunto, a NB 208 - Saídas de Emergência em Edifícios Altos. No ano seguinte, o estado do Rio de Janeiro é a primeira unidade federativa a aprovar uma lei que tratava especificamente sobre SCI, regulamento intitulado de Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico e que serviu de modelo para muitos outros estados do país (Gill, 2008).

Já em 1978, passa a vigorar a Norma Regulamentadora (NR) 23 - Proteção Contra Incêndios - do Ministério do Trabalho que buscou propiciar maiores condições de segurança para os trabalhadores através da adoção de medidas de proteção contra incêndio, por parte dos empregadores (NEGRISOLO, 2011).

Sendo a segurança contra incêndio uma área bastante dinâmica, uma vez que está intimamente relacionada à evolução dos conhecimentos técnico-científicos, com o passar dos anos, as normas sofreram mudanças, algumas sendo atualizadas, outras canceladas e ainda outras novas normas surgiram, sempre buscando criar condições que minimizassem os riscos de perdas humanas, patrimoniais e/ou materiais.

2.2.1 Legislação baseada em parâmetros prescritivos e de desempenho

As normas de segurança contra incêndio podem ser divididas em normas prescritivas e normas baseadas no desempenho. Segundo Tavares, *et al.*(2009) ao longo do tempo, a ocorrência de incêndios levou o poder público em todo o mundo a pensar em maneiras mais efetivas de prevenção e combate. Desde então, foram criados códigos de incêndios com a característica peculiar de serem baseados nas experiências do passado. Esses códigos, os quais foram baseados em desastres, ficaram conhecidos como Códigos Prescritivos.

Para Campos e Braga (2008) como a legislação prescritiva determina a adoção dos requisitos de segurança contra incêndio de forma empírica, com base em sinistros anteriores, os custos dos projetos tendem a ser maiores e a implantação de soluções tecnologicamente inovadoras dificultada.

Já os códigos baseados em desempenho são códigos dinâmicos, pois levam em consideração todos os agentes envolvidos no sistema como a dinâmica do incêndio, a edificação e o comportamento das pessoas (Tavares, *et al.*, 2009). Segundo Alves, *et al.*(2008) os códigos baseados em desempenho permitem a criação de projetos inovadores e construções mais produtivas.

A elaboração de leis e normas baseadas em critérios de desempenho é mais complexa, pois necessita de profissionais qualificados e de metodologias já validadas. Por outro lado, as leis baseadas apenas em códigos prescritivos deixam lacunas, principalmente devido à inflexibilidade inerente ao seu processo de formulação, uma vez que são baseadas em eventos pontuais e particulares. O Quadro 2 proposto por Tavares (2009) apresenta as principais vantagens e desvantagens de cada código.

Quadro 2: Vantagens e desvantagens dos códigos prescritivos e de desempenho.

CÓDIGO PRESCRITIVO	
Vantagens	Desvantagens
Análise direta, isto é, interpretação direta com o estabelecido nas normas e códigos.	Recomendações específicas sem que a intenção das mesmas seja declarada.
Não são necessários engenheiros com uma qualificação mais específica	A estrutura dos códigos existentes é complexa.
	Não é possível promover projetos mais seguros e a um custo menor.
	Pouco flexíveis quanto à inovação.
	É assumida uma única maneira de assegurar a segurança contra incêndios.
CÓDIGO DESEMPENHO	
Vantagens	Desvantagens
Estabelecimento de objetivos de segurança claramente definidos, ficando a critério dos engenheiros a metodologia para atingi-los.	Dificuldade em definir critérios quantitativos, isto é, critérios de desempenho.
Flexibilidade para a introdução de soluções inovadoras, as quais venham a atender aos critérios de desempenho.	Necessidade de treinamento, especialmente durante os primeiros estágios de implementação.
Harmonização com normas e códigos internacionais.	Dificuldade para análise e avaliação.
Possibilidade de projetos mais seguros e com menor custo.	Dificuldades na validação das metodologias usadas na quantificação
Introdução de novas tecnologias no mercado	

Fonte: Tavares, 2009

O avanço da ciência do fogo e da capacidade de processamento dos computadores propiciou a modernização das normas em direção à aplicação de parâmetros de desempenho. Países como Japão, Canadá, Inglaterra, Austrália, Nova Zelândia e outros adotam códigos de incêndios baseados em desempenho (Campos e Braga, 2008).

De acordo com Claret e Mattedi (2011) diversos países europeus e asiáticos, além dos Estados Unidos e do Canadá, encontram-se, hoje, na vanguarda da utilização dos conceitos e dos princípios do projeto baseado em desempenho ou, na literatura de língua inglesa, *performance-based design* (PBD).

Meacham (1997) afirma que nesses países, já existem edições autorizadas pelo poder público dos códigos de projeto baseados em

desempenho, cujo emprego é alternativo aos códigos de projeto tradicionais, essencialmente prescritivos. Mas, em geral, o cenário mundial é o da mudança progressiva do ambiente de projeto prescritivo para o de projeto baseado em desempenho.

Segundo Campos e Braga (2008) o Brasil, porém, ainda está em fase incipiente e continua adotando normas de cunho prescritivo. Para Tavares et al (2002) as dificuldades existentes para a implantação de um código de segurança contra incêndios baseado no desempenho no país estão relacionadas a legislação contra incêndios, fortemente fundamentada em desastres ocorridos. Soma-se a isto, o fato de que, no Brasil, existem várias legislações de segurança contra incêndio em níveis federal, estadual e municipal, o que é um obstáculo para a implementação de um código baseado no desempenho; a pouca percepção ao risco de incêndios por parte da sociedade brasileira e a grande extensão territorial que dificulta ainda mais a centralização do código.

Alguns autores (Claret e Mattedi, 2011; Campos e Braga, 2008; Tavares, 2002) discutem qual seria a melhor opção de código para o contexto nacional, os códigos prescritivos (os vigentes) ou os códigos baseados no desempenho, visto que, essa é uma tendência mundial.

Os autores concordam que apesar da dinamicidade proporcionada pelos códigos de desempenho, no contexto brasileiro, onde ainda vigoram barreiras de percepção ao risco e legislação, os parâmetros prescritivos não devem ser eliminados, mas agregados aos parâmetros de desempenho para fortalecimento das legislações, melhorando a eficiência e a segurança das normas existentes.

2.3 Saídas de emergência: uma medida de segurança contra incêndio

É possível agrupar as medidas de segurança contra incêndio em medidas de prevenção e medidas de proteção. Medidas de prevenção são aquelas que se destinam a prevenir a ocorrência do início do incêndio, isto é,

controlar o risco do início do incêndio. Enquanto que as medidas de proteção são aquelas destinadas a resguardar a vida humana e os bens materiais dos efeitos nocivos do incêndio que já se desenvolve (Ono, 2007).

Entre as medidas de proteção mais importantes estão as saídas de emergência por buscar preservar a vida dos ocupantes permitindo que cheguem sem danos a uma área segura. A norma brasileira que trata das rotas de fuga é a NBR 9077, que serve ou serviu de base para a maioria das normas estaduais.

A norma brasileira NBR 9077 deu origem a instrução técnica CBPMSP 11 saídas de emergência, sendo, portanto documentos muito similares. Diferenciam-se devido ao fato da norma estadual ter passado por atualizações, enquanto a última versão da norma brasileira foi publicada em 1993, há mais de duas décadas (ONO, 2010), passando por pequenas correções em 1999 e 2001. Tamanho tempo sem revisão contraria a instrução administrativa da ABNT (2014), conforme a qual uma norma brasileira deve ser revista, pelo menos, a cada cinco anos.

Sobre as normas citadas, Claret (2011) afirma que a NBR 9077 é considerada a “norma-mãe”, entre os engenheiros e arquitetos, pois direciona toda e qualquer atividade projetual no que concerne a edificações e que as instruções técnicas do CBPMSP são as regulamentações mais avançadas do país. Diz ainda que são normas que apresentam identidade no que tange a seu caráter prescritivo e que interferem de forma significativa na tomada de decisões e na liberdade projetual, conduzindo a soluções padronizadas e pouco flexíveis.

Na Paraíba, em 2015, passou a vigorar a norma técnica CBMPB 12 saídas de emergência fundamentada na instrução técnica CBPMSP 11, antes disso utilizava-se a NBR 9077. O autor, até a data do presente trabalho, faz parte do conselho técnico normativo do CBMPB (CTN do CBMPB) e participou da elaboração da referida legislação estadual. Conforme lei estadual 9625/2011, o CTN é o órgão de estudo que têm a incumbência de elaborar e propor alterações das normas técnicas para adequação aos novos

procedimentos de segurança contra incêndio e controle de pânico que possam surgir em decorrência de evoluções tecnológicas.

2.3.1 Estudo das saídas de emergência em locais de reunião de público

Os parâmetros normativos utilizados no dimensionamento das saídas de emergência estão diretamente associados à ocupação da edificação. A ocupação corresponde a atividade ou uso da edificação e está relacionada à função social, econômica, comercial ou técnica exercida em uma edificação. É utilizada pelas legislações de segurança contra incêndio para classificar as edificações em grupos.

Segundo Cote (2009) a norma norte americana, NFPA 101, define ocupação de reunião como sendo uma ocupação utilizada para a reunião de 50 ou mais pessoas para deliberação, adoração, entretenimento, ingerir comida ou bebida, diversão, espera de transporte ou para usos semelhantes. Diz ainda que são locais que geralmente contêm um grande número de pessoas que não estão familiarizados com o espaço e estão, portanto, sujeitas a indecisão sobre o melhor meio de saída, em caso de emergência.

Em Portugal as edificações de reunião estão agrupadas no Tipo VI – espetáculos e reuniões públicas – edifícios ou partes de edifícios, recintos itinerantes ou provisórios e ao ar livre que recebam público, destinados a espetáculos, reuniões públicas, exposições de meios audiovisuais, bailes, jogos, conferências, palestras, culto religioso e exposições, podendo ser, ou não, polivalentes e desenvolver as atividades referidas em regime não permanente (ROSA, 2010).

A NT CBMPB 04 apresenta a classificação das edificações quanto à ocupação para o estado da Paraíba que muito se assemelha a classificação da NBR 9077. Em ambas, os locais de reunião de público pertencem ao grupo F, contudo a NBR 9077 apresenta 8 divisões para o referido grupo enquanto a legislação estadual possui 10. Destas, a mais relevante para o presente estudo é a divisão F-6 que é apresentada no Quadro 3, para os dois textos normativos.

Quadro 3: Classificação dos locais de reunião de público.

Norma	Grupo	Ocupação/Uso	Divisão	Descrição	Tipificação/Exemplos
NT CBMPB 04	F	Local de reunião de público.	F-6	Clubes sociais e de diversão.	Boates, clubes em geral, salões de baile, restaurantes dançantes, clubes sociais, bingo, bilhares, tiro ao alvo, boliche e assemelhados.
NBR 9077	F	Local de reunião de público.	F-6	Clubes sociais.	Boates e clubes noturnos em geral, salões de baile, restaurantes dançantes, clubes sociais e assemelhados.

Fontes: NT CBMPB 04 e NBR 9077.

As saídas de emergência são dimensionadas em função da população da edificação, que por sua vez é calculada através dos coeficientes de densidade ocupacional. A largura das saídas é dada pela Equação (1):

$$N = \frac{P}{C} \quad (1)$$

Onde:

N é número de unidades de passagem, arredondado para número inteiro imediatamente superior.

P é a população, calculada através dos coeficientes de densidade ocupacional.

C é a capacidade da unidade de passagem.

A NBR 9077 apresenta as seguintes definições:

Unidade de passagem é a largura mínima para a passagem de uma fila de pessoas, fixada em 0,55m.

Capacidade de uma unidade de passagem é o número de pessoas que passa por esta unidade em 1 minuto.

No Quadro 4 são mostrados os valores do coeficiente de densidade ocupacional e da capacidade da unidade de passagem para clubes sociais (locais de reunião de público), segundo a NBR 9077 e NT CBMPB 12, que apresentam valores iguais. A diferença identificada entre as normas citadas, é que na Paraíba é informado que para a ocupação “restaurante dançante” e

“salão de festas” onde há mesas e cadeiras para refeição e pista de dança, o parâmetro para cálculo de população é de 1 pessoa por 0,67 m² de área.

Quadro 4: Parâmetros para cálculo de população e largura de saídas de emergência em locais de reunião de público.

Divisão	População	Capacidade da Unidade. de Passagem (UP)		
	Densidade ocupacional	Acessos e Descargas	Escadas/Rampas	Portas
F-6	Duas pessoas por m ² de área (1:0,5 m ²)	100	75	100

Fonte: Adaptado da NBR 9077 e NT CBMPB 12.

Segundo Ono (2010), desde 1914 que o valor de 22 polegadas (aproximadamente 55cm) já era tido como um módulo de unidade de saída e em 1927 foi amplamente adotado pelos códigos e regulamentações nos EUA. Faillace (1991) que participou da comissão que elaborou o texto da NBR 9077, informa que o valor da unidade de passagem, na maioria das normas, era de 55cm. Porém, era de 60 cm, na NB 208/1974, norma que antecedeu a NBR 9077.

Já a NBR 9050 de 2015, que define os parâmetros técnicos a serem observados para as edificações em relação às condições de acessibilidade estabelece a medida de 0,60m para o deslocamento de pessoas em pé, sem órtese. Valor este que também é adotado na legislação de Portugal.

2.3.2 Outros conceitos associadas ao estudo das saídas de emergência

Outros conceitos importantes a considerar no estudo das saídas de emergência são: o fluxo específico, a taxa de fluxo e o tempo de evacuação.

a) Fluxo específico

Conforme Valentin (2008) o fluxo específico representa o número de pessoas que passam em um ponto na rota de escape por unidade de tempo e por unidade de largura efetiva, e é dado pela Equação 2:

$$F_e = D \times v \quad (2)$$

Onde:

F_e : Fluxo Especifico [pessoas/m.s]

D: Densidade [pessoas/m²]

v: Velocidade [m/s] .

Portanto, considerando que para locais de reunião de público a capacidade de uma unidade de passagem (0,55m) para portas é de 100 pessoas por minuto, tem-se um fluxo específico de 3,03 pessoas/(segundo.metro).

b) Taxa de fluxo

A taxa de fluxo representa o número de pessoas que cruzam um determinado ponto em uma unidade de tempo, Equação 3:

$$T = F_e \times L \quad (3)$$

Onde:

T: Taxa de Fluxo [pessoa/s]

F_e : Fluxo Especifico [pessoas/m.s]

L: Largura [m]

Fluxo específico e taxa de fluxo são parâmetros relativamente novos nas legislações brasileiras, fato este que, por vezes, acarreta confusão em seus conceitos, como pode ser observado abaixo, onde o conceito diverge da unidade de medida:

Taxa de fluxo: numero de pessoas que passam, por minuto, por determinada largura de saída (pessoas/minuto). (São Paulo, 2011; Rio Grande do Sul, 2012; Minas Gerais, 2013; Paraná, 2014; Paraíba, 2014).

No estado do Mato Grosso foi feita a correta correspondência entre conceito e unidade de medida:

Taxa de fluxo: número de pessoas que passam por minuto, por determinada largura de saída (pessoas/minuto/m). (Mato Grosso, 2016).

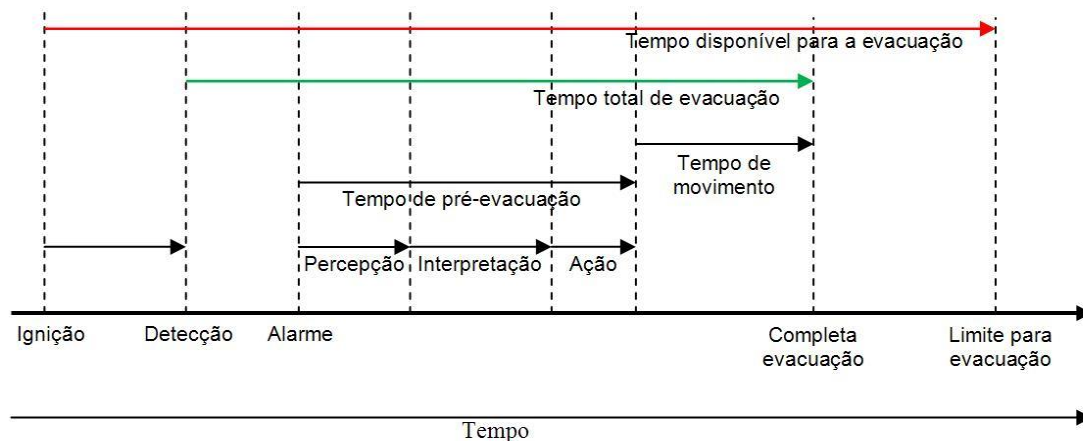
c) Tempo de Evacuação

Gouveia (2002) explica que o tempo total de evacuação de uma edificação costuma ser composto de várias parcelas de tempo. A Figura 1 exhibe graficamente esses tempos. O tempo de escape será composto por:

- Tempo de detecção: tempo decorrido entre o início e à detecção do sinistro.
- Tempo de alarme: tempo desde a detecção até à notificação dos ocupantes.
- Tempo pré-evacuação: tempo decorrido entre a notificação dos ocupantes, a tomada da decisão de abandonar o edifício e o início da evacuação
- Tempo de movimento: tempo decorrido entre o início do abandono e a completa evacuação.

O intervalo de tempo em que o edifício conserva as condições necessárias para a sua evacuação total se processar em segurança é chamado de tempo disponível e deve ser superior ou no mínimo igual ao tempo total de evacuação.

Figura 1: Tempos para evacuação da edificação.



Fonte: Adaptado de DiNenno et al. (2002).

Segundo Almeida (2013) os modelos existentes têm se focado principalmente nos aspetos relacionados ao tempo de movimento. O tempo de pré-evacuação é o que apresenta maiores dificuldades no desenvolvimento de modelos capazes de determinar valores credíveis e realistas, pois depende de

características intrínsecas ao comportamento humano, de difícil avaliação e estimação.

A NBR 9077 e a NT CBMPB 12 não estabelecem o tempo de evacuação das edificações, mas permitem o entendimento de que ocorrerá em um minuto. Para uma população de 100 pessoas e ao menos uma porta com capacidade de uma unidade de passagem (que conforme Quadro 4 possui capacidade de 100 pessoas por minuto) é possível julgar que a evacuação das 100 pessoas será feita em um minuto. Entendimento que é adotado por muitos projetistas e que é constatado por outros autores como Moraes (2014) que apresenta um exemplo no qual se uma saída de um local de reunião de público possuir 3 unidades de passagem será capaz de evacuar 300 pessoas, em segurança, a cada minuto.

Após a tragédia na casa noturna *The Station* nos EUA, o NIST (Instituto Nacional de Normas e Tecnologia) em seu relatório de investigação técnica recomendou que o tempo máximo permitido para a evacuação de discotecas semelhantes ou menores que a *The Station* fosse de 1 minuto e 30 segundos.

Segundo o guia publicado por *Her Majesty's Government* (2006), o tempo disponível para abandono depende do risco, sendo que para edificações com riscos mais elevados, como é caso de locais de reunião de público, este tempo deve ser de 2 minutos.

A determinação do tempo necessário para uma evacuação total de uma edificação, seja qual for o cenário de incêndio, consiste num desafio notório, pois o número de variáveis a considerar é enorme. Neste sentido, os modelos matemáticos têm evoluído e colaborado muito nas últimas décadas servindo como ferramenta de apoio a tomada de decisão.

2.4 Modelos computacionais

Para a análise do nível de segurança à vida com base no desempenho de edifícios, os modelos computacionais de abandono são ferramentas de uso crescente da engenharia de segurança contra incêndio (ONO, 2010). Segundo Almeida (2013), nos primórdios da análise do movimento das pessoas foram propostos diversos modelos teóricos como, por exemplo, o modelo hidráulico, o modelo gasoso e o modelo de partículas sólidas. Mas estes só permitiam uma

abordagem macroscópica, que estuda a multidão como um todo. Já na abordagem microscópica cada ocupante é considerado um agente autônomo que quando considerados em conjunto podem produzir um comportamento emergente do sistema.

Conforme Valentin (2008) os modelos de abandono podem ser categorizados em modelo de movimento, de comportamento parcial e comportamental. Os de movimento simulam apenas o deslocamento do ocupante de um ponto no interior da edificação para uma saída ou área segura. No comportamento parcial já é possível simular comportamentos menos complexos, em comparação com os de comportamento, como o de ultrapassagem. E os modelos de comportamento podem incorporar a tomada de decisão ou ações que são desempenhadas devido às condições ambientais.

Cada modelo possui características específicas e aplicabilidade a situações determinadas, necessitando sempre que o usuário tenha conhecimento aprofundado sobre o software utilizado e sobre os conceitos da evacuação de edificações para não chegar a conclusões erradas.

O número de modelos de evacuação aumentou significativamente devido ao maior interesse pelo tema em razão do desenvolvimento dos métodos de engenharia, dos quais pode-se citar por seu maior uso o buildingExodus, Simulex, Egress e Pathfinder. São vários os fatores que influenciam na adequada escolha do software e para a presente pesquisa foi selecionada o Pathfinder por permitir importação de desenhos do CAD, capacidade de visualização em 3D, dentre outras características e por sua utilização ter sido autorizada, através de licença acadêmica, pela empresa *Thunderhead Engineering*.

2.4.1 Descrição do software Pathfinder

Pathfinder é um modelo de abandono baseado em agentes e desenvolvido pela empresa *Thunderhead Engineering* que utiliza duas maneiras para modelar o movimento dos ocupantes: SFPE e Steering.

O software fornece resultados qualitativos e quantitativos através da disponibilização de dados de tempo de evacuação, taxas de fluxo e da representação visual da densidade populacional no tempo durante o processo

de evacuação. O modelo também calcula o movimento em intervalos de tempo discretos, passo a passo, atualiza pontos-alvo, calcula a direção e a velocidade do ocupante, de formas diferentes, dependendo do modo de evacuação escolhido: Steering ou SFPE (RONCHI et. al. 2010).

Conforme Muniz (2013) o ambiente de circulação é uma malha 3D triangulada concebida para corresponder às dimensões reais da construção modelada. Esta malha de circulação pode ser introduzida automaticamente com base em dados importados. Os ocupantes são modelados como cilindros na posição vertical e seus movimentos são calculados de forma independente, a partir de um conjunto de parâmetros de entrada (velocidade máxima, apresentação 3D, sexo, idade, etc).

a) O modo SFPE

Este modelo aplica as técnicas de modelagem baseadas em fluxo de escape apresentadas no Manual de Engenharia de Proteção Contra Incêndio da Sociedade de Engenheiros de Proteção Contra Incêndios (SFPE) dos EUA (NELSON e MOWRER, 2002) e no Guia de Engenharia da SFPE - Comportamento Humano em Incêndios (SFPE, 2003).

Os ocupantes se movem entre os ambientes através de filas formadas nas portas e a velocidade é determinada pela densidade de cada setor, através da Equação 4. Para densidades menores que 0,55 pes/m² a velocidade tem seu valor máximo que é de 1,19 m/s e para densidades iguais ou superiores a 3,8 pessoas/m² a equação tenderá a zero indicando que movimento irá parar.

$$v = 1,40 - (0,372 * D) \quad (4)$$

Onde:

v = velocidade (m/s) e

D = densidade (pessoas/m²)

A NBR 9077 e NT CBMPB 12 tem seus desempenhos bem retratados por este modelo por utilizarem metodologias de dimensionamento de saídas de

emergência fundamentadas na unidade de passagem, que é a largura mínima para a passagem de uma fila de pessoas.

b) O modo Steering

É um modelo baseado na metodologia de comportamentos de direção desenvolvido por Reynolds (1999) e refinado por Amor et. al. (2006), permitindo uma análise mais complexa alinhada com uma representação dos processos humanos, no qual surgem os congestionamentos, a necessidade de filas é eliminada, embora ainda possam ocorrer. Circunstâncias mais complexas podem emergir naturalmente como um subproduto dos algoritmos de circulação - eliminando a necessidade explícita de filas em portas e cálculos de densidade.

Almeida (2013) tenta explicar tal situação utilizando como metáfora os insetos, formigas ou abelhas, em que a soma dos comportamentos individuais traduz-se numa quase nova entidade coletiva capaz de feitos superiores à simples soma das partes.

Ainda segundo Almeida (2013), numa situação real, a movimentação das pessoas é dirigida por objetivos (nível estratégico), selecionando a cada instante o melhor e mais seguro percurso (nível tático), tomando decisões acerca da velocidade, direção e desvio de obstáculos (nível do movimento).

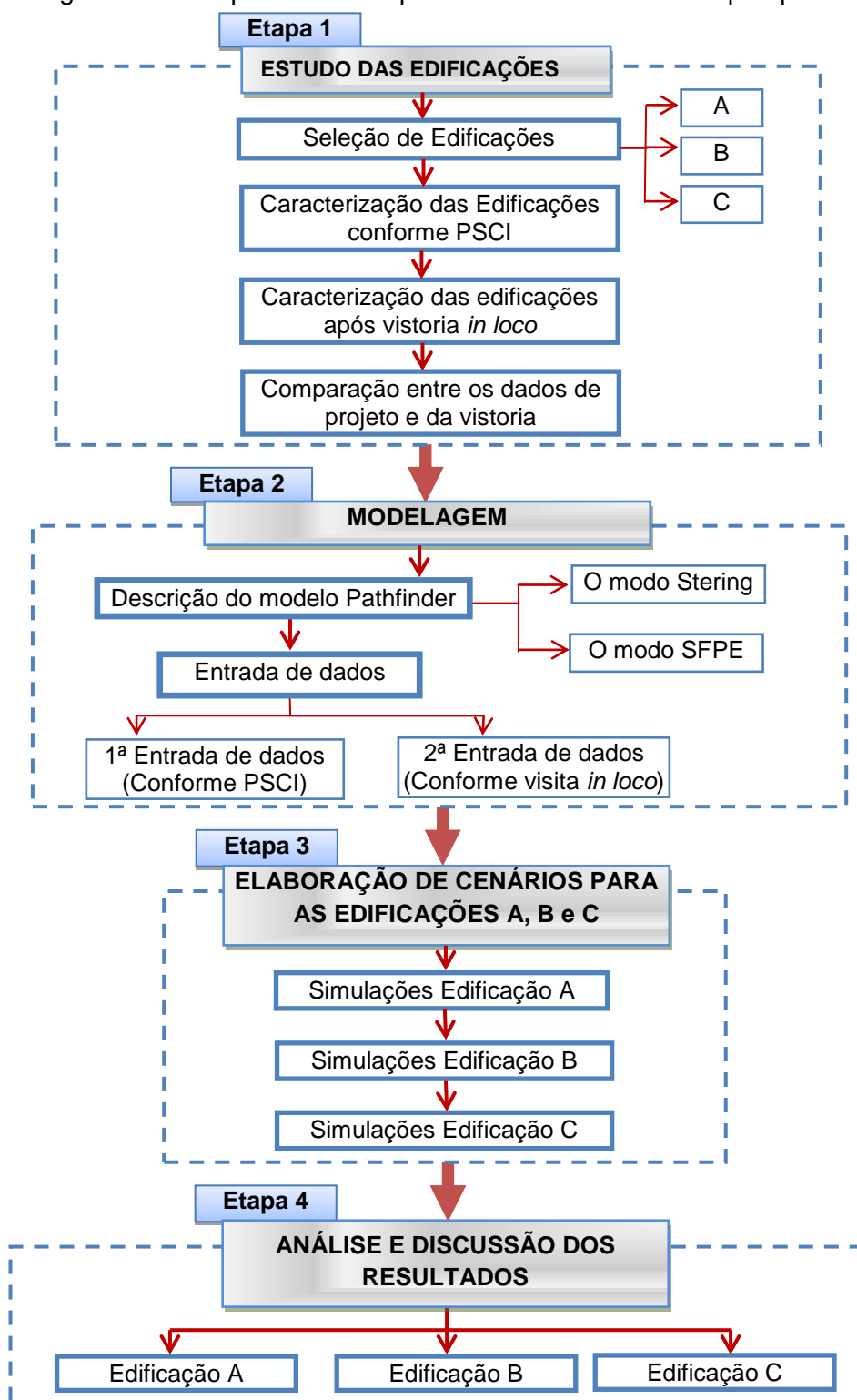
Buscando-se aproximar de tal condição, o modelo Steering desloca os ocupantes para que eles realizem seu objetivo e possam responder a um ambiente em mudança, através da avaliação de um conjunto de instruções de movimento para que as pessoas escolham a direção que minimize uma função de custo. Cada custo é então classificado através da combinação de vários tipos de comportamentos e analisados através da aplicação da heurística (conjunto de regras) para a escolha da melhor saída. Os tipos de comportamentos de direção utilizados e o número de instruções é controlado pelo estado atual velocidade do ocupante, em intervalos de tempo discretos.

Este modo é mais dependente da prevenção de colisões (seres humanos ou paredes) e da interação entre ocupantes para a resposta final produzindo respostas mais similares aos dados experimentais do que o modo de SFPE.

3 METODOLOGIA

Com o intuito de cumprir com os objetivos propostos na pesquisa foram estabelecidas as etapas metodológicas apresentadas na Figura 2. Estas etapas serão detalhadas na sequência.

Figura 2: Fluxograma das etapas utilizadas para o desenvolvimento da pesquisa



Fonte: Autoria própria.

3.1 Estudo das edificações

3.1.1 Breve caracterização da cidade onde estão inseridas as edificações

O estudo foi desenvolvido em edificações localizadas na cidade de Campina Grande, segunda maior do Estado da Paraíba. Conforme Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a cidade possui uma população estimada, em 2015, de 385 mil habitantes. Localizada na porção central do Estado, distante 120 km da capital João Pessoa, Campina Grande é conhecida como uma cidade polarizadora, convergindo como grande centro comercial, tecnológico e educacional. Sua população é flutuante durante o ano em função de atividades educacionais das suas universidades, além dos eventos culturais que concentram um elevado número de turistas. Possui duas universidades públicas e um instituto federal e mais de dez faculdades particulares, concentrando quase um terço dos estudantes universitários da Paraíba, cerca de vinte mil.

Para atender ao público durante os eventos ocorridos na cidade, assim como ao longo de todo o ano, Campina Grande possui uma variedade de edificações classificadas como clubes sociais e de diversão, entre elas restaurantes dançantes, boates e salões de baile. Essas edificações recebem um grande número de pessoas, principalmente nos finais de semana. Para este estudo foram escolhidas três edificações classificadas como clubes sociais.

3.1.2 Critérios adotados para seleção das edificações

Além do fato de serem clubes sociais, outros critérios foram utilizados para a escolha dos projetos que seriam selecionados.

- a) Existência de PSCI nos arquivos do Corpo de Bombeiros.

De acordo com a Lei estadual da Paraíba de número 9625 de 2011, que instituiu o Código Estadual de Proteção Contra Incêndio, Explosão e Controle

de Pânico, todas as edificações devem passar pelo processo de regularização junto ao CBMPB.

Para regularizar uma edificação junto ao corpo de bombeiros, o proprietário ou responsável pelo uso deve apresentar o projeto de segurança contra incêndio – PSCI – que será submetido à análise para verificar a conformidade com a regulamentação vigente; em seguida, o projeto sendo aprovado é liberado para execução e arquivado para fiscalizações futuras. Após concluída a edificação solicita-se a vistoria do Corpo de Bombeiros que, não constatando discordâncias entre os procedimentos aprovados e os executados, providencia a expedição do certificado de aprovação, documento final de regularização (NEGRISOLO, 2007). Mas, nem sempre o projeto antecede a obra, ocorrendo situações em que o empreendimento é desenvolvido sem a existência do PSCI, trazendo transtornos, aumento de custos e prejuízo à segurança (CAMPOS E CONCEIÇÃO, 2006).

Sendo assim, foi feita uma verificação no acervo do quartel de bombeiros de Campina Grande com o intuito de obter arquivos contendo plantas baixas, memoriais descritivos e demais documentos que compõe o PSCI e que pudessem subsidiar as modelagens no software utilizado.

b) População acima de 100 pessoas.

À exemplo do que ocorre no estado de São Paulo, na Paraíba também é adotada a quantidade mínima de 100 pessoas para aumentar as exigências de segurança dos estabelecimentos. Outros estados brasileiros adotam valores diversificados e nos EUA, a edificação passa a ser classificada como local de reunião se for utilizada para aglomerações de 50 ou mais pessoas.

A legislação vigente no estado da Paraíba define que, em locais com 100 ou mais pessoas, as portas de emergência devem abrir no sentido do trânsito de saída, possuir barra antipânico, serem isentas de peças plásticas em fechaduras, espelhos, maçanetas, dobradiças e é vetado o uso de portas de enrolar, além da exigência de iluminação de emergência e brigada de incêndio, sendo, portanto, esse o motivo de tal critério de seleção.

- c) Possuir apenas um pavimento.

As rotas de fuga podem ser verticais ou horizontais. Estas ocorrem através de portas, corredores, acessos e descargas e as verticais por meio de escadas, rampas e, em situações especiais, elevadores. Os deslocamentos verticais e horizontais apresentam velocidades, fluxos e expressões matemáticas diferentes. Sendo os clubes sociais, em sua grande maioria, edificações térreas e delimitando a análise para o estudo do movimento horizontal, optou-se por prédios de um só pavimento.

- d) Semelhanças com a boate The Station.

Selecionou-se locais que apresentassem semelhanças com a discoteca The Station, com o objetivo de aplicar as recomendações de segurança oriundas do exaustivo estudo produzido pelo NIST a partir do incêndio ocorrido no citado local, no ano de 2003, nos EUA.

- e) Autorização do proprietário ou responsável pelo uso.

A autorização do proprietário ou responsável pelo uso foi importante para que fossem realizadas visitas as edificações e o levantamento de diversas informações pertinentes a entrada de dados no modelo e a execução das simulações.

3.1.3 Caracterização das edificações conforme PSCI

Todos os dados, referentes às três edificações e informados a seguir, foram extraídos dos projetos de segurança contra incêndio obtidos junto ao quartel do Corpo de Bombeiros Militar de Campina Grande, no setor do CAT do 2º BBM.

a) Edificação A

A edificação possui um único pavimento com pé direito de 3m e área construída de 739m², existindo um estabelecimento comercial na lateral direita, uma residência na lateral esquerda e outra edificação na retaguarda, havendo assim, apenas uma das faces livre.

Existem duas saídas de emergências com aproximadamente 10m de distância entre elas, sendo a saída 1, que também é a entrada principal, composta por uma escada de três degraus com 1,2m de largura e a saída 2 uma rampa de 4m de largura (Figura 3). A fachada não foi representada nas plantas.

A área destinada aos clientes, com 400m², é constituída por um salão, bar, palco, área para crianças, fraldário e banheiros. Já a área privativa para os funcionários possui churrasqueira, cozinha, despensa, câmara frigorífica, vestiário e ambiente para lavagem da prataria, que conforme PSCI possui 136m². Neste ponto observa-se uma divergência entre a área construída que é de 739m² e o somatório das áreas ocupáveis que totaliza 536m². Conforme NT CBMPB 04, área construída é o somatório de todas as áreas ocupáveis e cobertas de uma edificação, portanto, tais valores deveriam ser iguais. Logo, a área construída deveria ser de 536m² coincidindo com o valor da área ocupável informada ou o somatório da área ocupável deveria ser de 739m².

O responsável técnico pelo projeto fez o cálculo da capacidade das saídas de emergência, porém, novamente, encontram-se divergências de informações, pois as duas saídas de emergência somadas, totalizam 9 unidades de passagem, sendo a capacidade da unidade de passagem para escadas e rampas de 75, conforme Quadro 4, se atingiria uma população máxima de 675 pessoas. No entanto, tendo em vista que a intenção é analisar o movimento horizontal, a escada e a rampa serão consideradas como descargas e terão a coeficiente de 100, segundo NBR 9077, resultando na capacidade de 900 pessoas.

Área construída	739,10m²
Salão de dança	Sim
Leiaute de distribuição das Mesas	Não informado
População Funcionários	19 pessoas
População de Visitantes	800 pessoas
População Total²	819 pessoas
Capacidade das saídas de emergência³	900 pessoas
Capacidade das saídas de emergência conforme PSCI	900 pessoas
População máxima conforme PSCI	819 pessoas
Controle de Materiais de Acabamento e Revestimento	SIM
Iluminação de Emergência	9 luminárias
Sinalização de Emergência	26 placas de sinalização, entre placas de rota de fuga e placas de equipamentos
Extintores de incêndio	8 unidades
Brigada de Incêndio	6 brigadistas

Nota 1. Área não computada para o cálculo da população máxima.

Nota 2. Valor subdimensionado tendo em vista a área não computada, conforme Nota 1.

Nota 3. Desconsiderando os degraus e a rampa.

Fonte: Autoria Própria

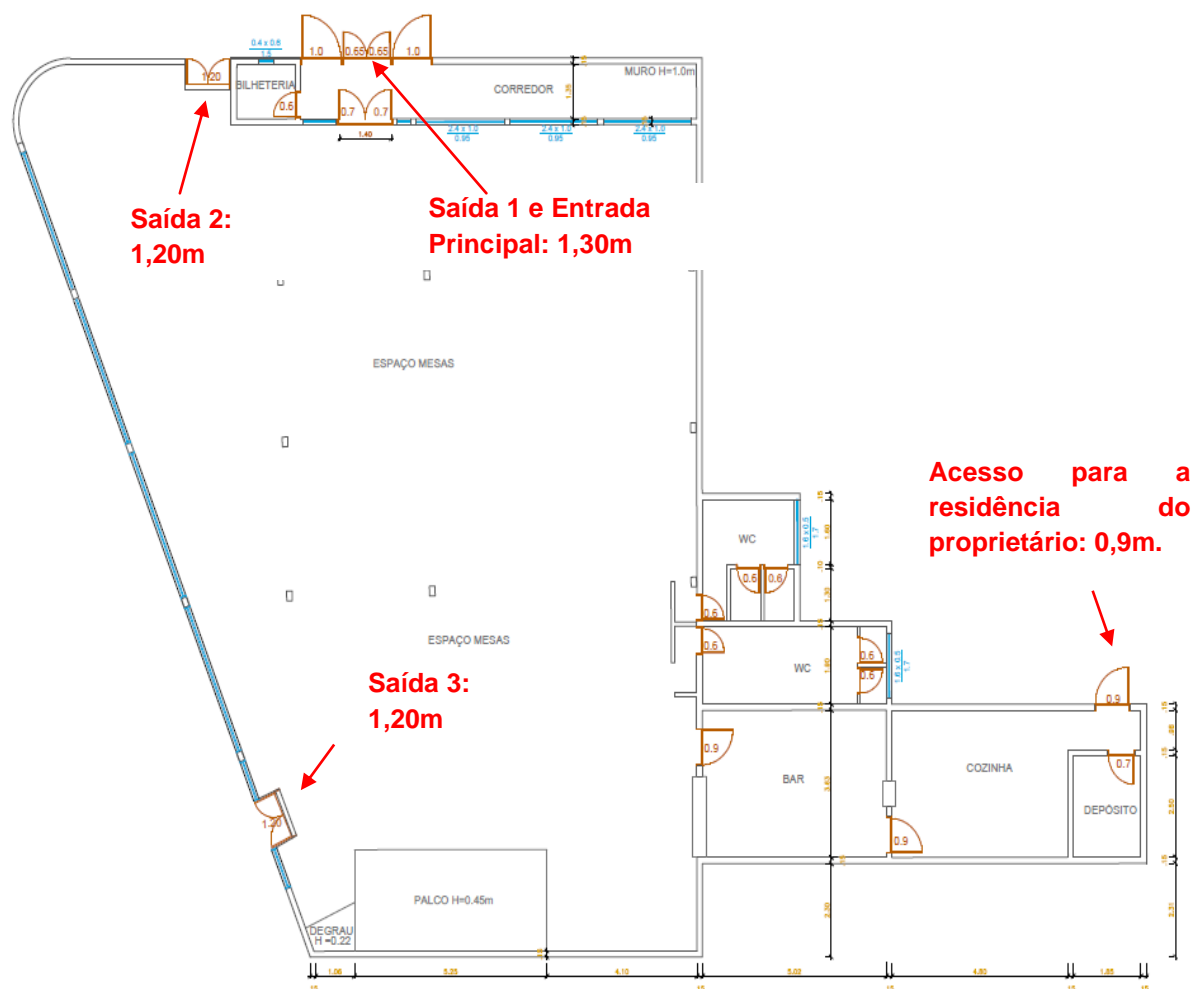
b) Edificação B

A edificação possui um único pavimento com pé direito de 2,5m e área construída de 328,6m², localizada na esquina do lote possuindo desta forma duas faces livres. Uma das edificações adjacentes é a residência do proprietário, existindo assim uma comunicação entre os dois terrenos.

Existem três saídas de emergências, sendo a saída 1, que também é a entrada principal, com 1,3m de largura e com 4m de distância para a saída 2 que possui 1,2m de largura. Já a saída 3, com 1,2m de largura, está situada a 17m da saída 1 e próximo ao palco, como pode ser observado na Figura 4. Existe ainda um acesso à casa do proprietário, na retaguarda da edificação que pode ser utilizada como saída de emergência para os funcionários, mas que não entrou no dimensionamento das saídas de emergência por estar localizada numa área de acesso restrito.

A área destinada aos clientes, com $290,5\text{m}^2$, é constituída por um salão, palco e banheiros. Já a área privativa para os funcionários possui bar, cozinha e depósito, totalizando $38,1\text{m}^2$.

Figura 4: Croqui da Edificação B



Fonte: Autoria Própria

A população máxima calculada para a edificação foi de 581 pessoas nas áreas comuns e 6 pessoas nas áreas de acesso restrito. Porém, o projetista informa que para a realização de tal dimensionamento não foi levado em consideração à utilização de mesas e cadeiras e que o estabelecimento possui 80 mesas com 4 cadeiras cada, ocupando uma área de 1m^2 e reduzindo a população máxima para 420 pessoas. Todavia a NBR 9077 não prevê tal ponderação, devendo-se utilizar os parâmetros nela estipulados.

Quadro 6: Características da Edificação B.

Área construída	328,6m²
Área para o público	290,5m ²
Área privativa aos funcionários	38,1m ²
Quantidade de pavimentos	01
Quantidade de saídas	03
Largura das saídas	Saída 1: 1,3m
	Saída 2: 1,2m
	Saída 3: 1,2m
Salão de dança	Sim
Leiaute de distribuição das Mesas	Não informado
População Funcionários	6 pessoas
População Visitantes	581 pessoas
População Total	587 pessoas
Capacidade das saídas de emergência	600 pessoas
População máxima conforme PSCI¹	420 pessoas
Controle de Materiais de Acabamento e Revestimento	SIM
Iluminação de Emergência	10 luminárias
Sinalização de Emergência	10 placas de sinalização da rota de fuga
Extintores	6 unidades extintoras
Brigada de Incêndio	6 brigadistas

Nota 1. População em desacordo com a NBR 9077.

Fonte: Autoria Própria.

c) Edificação C.

A edificação possui um único pavimento com pé direito de 2,5m e área construída de 715m², localizada na esquina do lote possuindo desta forma duas faces livres e existindo imóveis residenciais em suas adjacências conforme mostrado na planta de coberta apresentada da Figura 5.

Existem duas saídas de emergências (Figura 6), a saída 1, que também é a entrada principal, é uma escada com cinco degraus e possui 2,4m de largura. Já a saída 2 possui 1,2m de largura e tem cerca de 14m de distância para a saída 1.

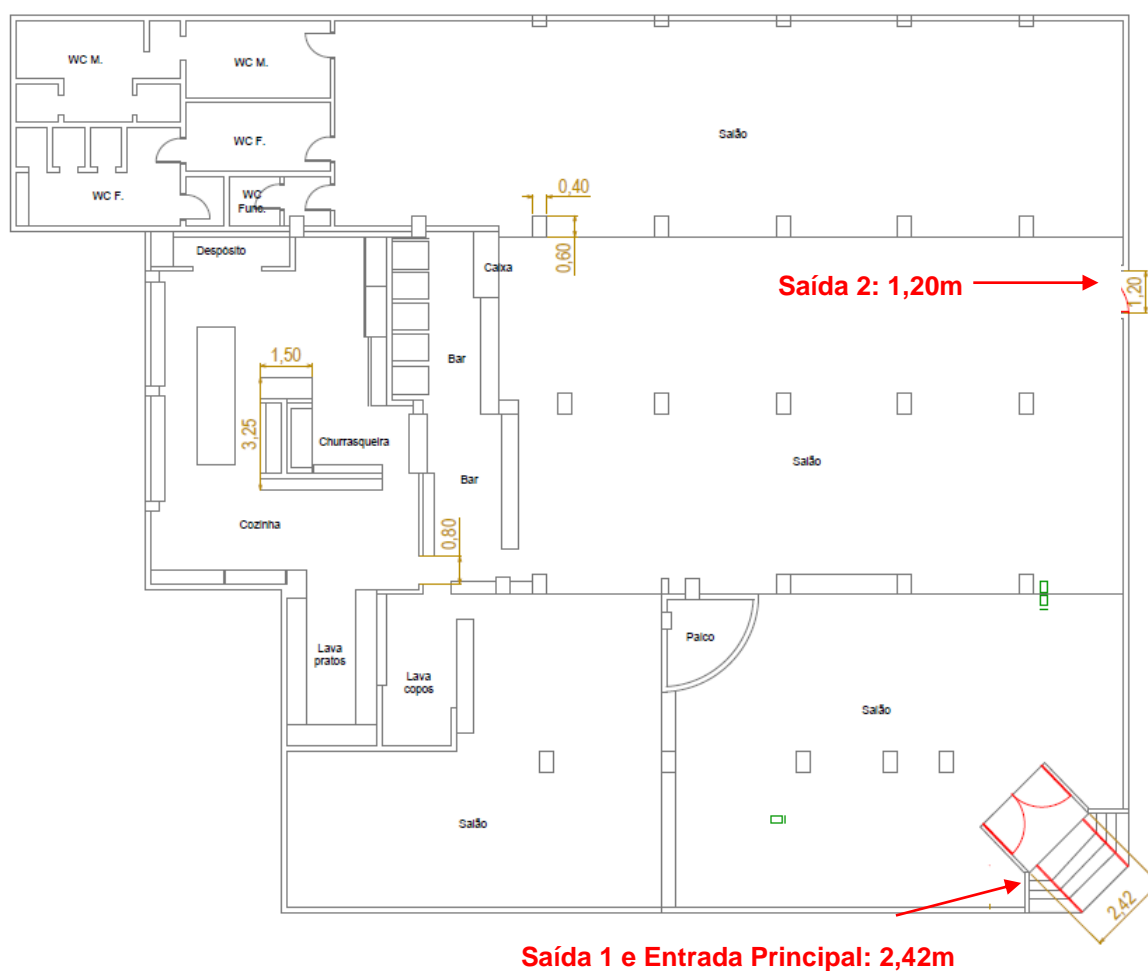
A área reservada para os funcionários possui bar, cozinha, churrasqueira, depósito e ambiente para lavagem da prataria totalizando

100m². Já a área destinada aos clientes, não é informada no memorial descritivo do PSCI, mas pode-se inferir que será de 615m² e é constituída por um salão, palco e banheiros.

O cálculo da população, para este caso, foi realizado considerando as saídas de emergência existentes, tendo a saída 1 e 2 capacidade para 400 e 200 pessoas, respectivamente, admitindo-as como saídas horizontais. Sendo a capacidade total oferecida pelas saídas de emergência de 600 pessoas.

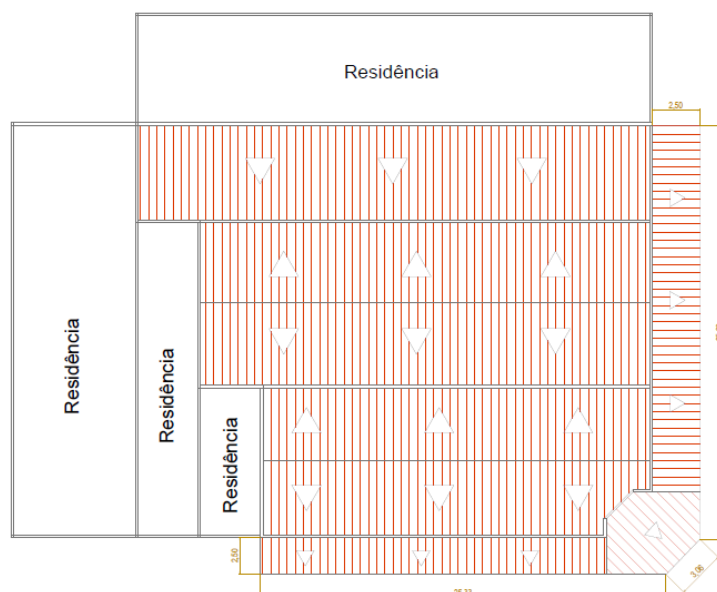
Calculando-se a população através dos coeficientes de densidade previstos na NBR 9077, seria obtido o valor de 14 ocupantes para área reservada aos funcionários, 100m², e 1230 para a área restante, 615m², perfazendo uma população total de 1244 pessoas.

Figura 5: Croqui da Edificação C.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 6: Planta de cobertura.



Fonte: Autoria Própria.

Quadro 7: Características da Edificação C.

Área construída	715m²
Área para o público¹	615m ²
Área privativa aos funcionários	100m ²
Quantidade de pavimentos	01
Quantidade de saídas	02
Largura das saídas	Saída 1: 2,4m
	Saída 2: 1,2m
Salão de dança	Sim
Leiaute de distribuição das Mesas	Não informado
População Funcionários	14 pessoas
População Visitantes²	1230 pessoas
População Total	1244 pessoas
Capacidade das saídas de emergência	600 pessoas
População máxima conforme PSCI	600 pessoas
Controle de Materiais de Acabamento e Revestimento	SIM
Iluminação de Emergência	07 luminárias
Sinalização de Emergência	16 placas de sinalização da rota de fuga e de equipamentos
Extintores	06 unidades extintoras
Brigada de Incêndio	06 brigadistas

Nota 1. Área estimada para o público tendo em vista não ser definida no PSCI, obtida pela diferença entre a área construída e área restrita aos funcionários.

Nota 2. População calculada considerando a área estimada para o público conforme a Nota 1.

Fonte: Autoria Própria.

Como apresentado nos Quadros 5, 6 e 7, os projetos preveem a existência de saídas de emergência, portas de saída com ferragens do tipo antipânico, extintores de incêndio, iluminação de emergência, sinalização de emergência, brigada de incêndio e controle de materiais de acabamento e revestimento. Tais medidas são as mínimas exigidas pela NT CBMPB 04, não havendo medidas de segurança adicionais como: sistema de detecção e alarme de incêndio, chuveiros automáticos, controle de fumaça ou outras.

3.1.4 Caracterização das edificações após vistoria *in loco*

Foram realizadas, no mínimo, duas visitas em cada edificação, sendo uma com o estabelecimento sem clientes e outra com a edificação em funcionamento com clientes. As informações obtidas foram úteis para o levantamento da existência e quantidade de mesas e sua distribuição, eventuais modificações na arquitetura e outros dados que subsidiaram a comparação entre a edificação e o seu projeto de segurança existente no Corpo de Bombeiros Militar.

3.1.5 Comparação entre os dados de projeto e da vistoria

Os dados oriundos das vistorias *in loco* foram confrontados com o projeto de segurança para identificação de eventuais mudanças sem a devida aquiescência do órgão de fiscalização das medidas de segurança contra incêndio. A partir desta comparação novas possibilidades de cenários de simulação foram ponderados com vistas à avaliação da evacuação das edificações.

3.2 A modelagem matemática

3.2.1 Dados de entrada do modelo

Para as simulações de evacuação, foi utilizado o perfil padrão do software, o *default* do *Pathfinder* e são divididos em parâmetros gerais e avançados. Os parâmetros gerais são aplicáveis aos dois modelos e os avançados ao modelo *Steering*.

Os principais parâmetros gerais apresentados no referencial técnico da *Thunderhead Engineering* (2012) serão descritos a seguir.

- A largura do ombro será o valor do diâmetro do cilindro que representa o ocupante. É usado para testes de colisão e planejamento de trajetória durante a simulação e afeta o número de ocupantes que podem ser adicionados em cada setor. Seu valor padrão é 45,58cm, que se aproxima da média brasileira, a qual segundo Bastos et. al. é 48,8cm para homens e 44,7cm para mulheres.
- A velocidade máxima é de 1,19m/s (71,4m/minuto).
- A altura tem o valor de 1,82m e é útil para limitar as colisões que podem ocorrer entre os ocupantes em diferentes andares quando os pisos foram modelados juntos. Tendo em vista que na presente pesquisa as edificações são todas térreas, este atributo não terá relevância.

Já os parâmetros avançados são:

- Fator de Redução igual a 0,7. Especifica quão bem um ocupante pode se deslocar passando por outros em corredores apertados. Deve ser especificado como sendo superior a 0 e inferior ou igual a 1, está diretamente relacionado com a largura do ombro durante os cálculos, portanto, um fator de redução de 0,5 permitiria que o ocupante se apertasse para metade da largura do ombro.

- Distância de conforto igual a 0,08m. Especifica a distância desejada que um ocupante vai tentar manter dos outros, tais como quando esperando em filas.
- Tempo de persistência igual a 1,0s. A quantidade de tempo que o ocupante manterá uma prioridade elevada ao tentar resolver conflitos de movimento.
- Tempo de resposta a colisão igual 1,5s. Quando multiplicado pela velocidade atual de um ocupante, esse parâmetro controla a distância em que a pessoa vai começar a calcular um custo para colidir com outros ocupantes.
- Fator de demora igual a 0,1. Especifica uma fração da velocidade do ocupante no qual eles são considerados para ser lenta. Um ocupante lento irá considerar as direções para trás para separar com os outros, enquanto um ocupante em movimento rápido tem uma direção mais apertada, mais focada.

Para a distribuição das pessoas, as edificações foram divididas em setor de acesso restrito aos funcionários e setor destinado ao público ou clientes. Em ambas as áreas os ocupantes foram distribuídos randomicamente. A quantidade de pessoas está especificada em cada Estudo.

3.3 Elaboração de cenários para as edificações estudadas

Para cada edificação foram analisados seis cenários e simulados, baseando-se nas particularidades de cada prédio. Em nenhuma das simulações foram inseridos tempos de detecção ou de pré-movimento, logo todos os ocupantes iniciaram seu deslocamento no início da simulação. O tempo que foi aferido nas simulações é o tempo de movimento. Por praticidade e fluidez do texto, foram utilizadas expressões como tempo de escape, tempo total de evacuação, tempo de abandono e outras, para se referir ao tempo de movimento ou deslocamento.

Convém lembrar que os casos descritos devem ser considerados como ideais (ausência de comportamentos não adaptativos e movimento livre de obstáculos) visto que não se considerou alguns riscos inerentes a um incêndio, tais como aumento de temperatura, gases tóxicos, baixa visibilidade e outros.

Conforme Valentin (2008) um comportamento não adaptativo ou popularmente chamado de pânico, pode ser definido como um comportamento de fuga induzido pelo medo irracional, não adaptativo, anti-social, que serve para reduzir as possibilidades de êxito do grupo como um todo. No entanto, ao contrário do senso comum, na maioria dos casos as pessoas tem um comportamento adaptativo, ou seja, conseguem abandonar a edificação sem se afastar dos padrões normais de comportamento.

Presumiu-se ainda que as saídas estavam sinalizadas, iluminadas e desobstruídas para que o modelo pudesse implantar seus parâmetros de modelagem, com exceção da simulação 6 do Estudo C. Nesta foi atribuída uma saída específica para determinado percentual de ocupantes para valiar as recomendações de segurança propostas pelo NIST.

Todas as edificações eram térreas, porém, em algumas descargas existiam degraus, estes não foram considerados, pois a intenção da pesquisa era avaliar unicamente os movimentos horizontais.

Para o modelo SFPE, o Pathfinder fornece a informação de quantas pessoas estavam esperando na fila, medida útil para analisar o congestionamento formado e, para tanto, em algumas simulações de maior relevância, foram confeccionados gráficos representativos da situação citada. Para o modo Steering tal dado não é informado pelo software, pois os congestionamentos podem ser identificados visualmente através de uma representação 3D.

Considerando que os projetos de segurança contra incêndio (PSCI) das edificações estavam dimensionados conforme NBR 9077, duas simulações foram comuns a todas as edificações, com o objetivo de verificar a eficácia do dimensionamento previsto no referido texto normativo:

- Geometria de PSCI no modo SFPE;

- Geometria de PSCI no modo Steering.

Para todas as simulações foram apresentados:

- Tabela com tempo de evacuação;
- Gráfico do número de ocupantes x Tempo;
- Tabela com as taxas de fluxo e fluxo específico.

A exceção foi a simulação 3 – Estudo A, pois seus resultados foram iguais aos da simulação 1 – Estudo A, tornando-se desnecessário repetir as tabelas e gráficos. Durante a análise e discussão dos resultados cada simulação será descrita com mais detalhes.

Para o local de reunião de público A as simulações foram as constantes no Quadro 8:

Quadro 8: Simulações para a edificação A.

SIMULAÇÃO	CARACTERÍSTICAS
1	Geometria de PSCI, no modo SFPE e sem mobiliário
2	Geometria de PSCI, no modo Steering e sem mobiliário
3	Geometria de PSCI, no modo SFPE e com mobiliário
4	Geometria de PSCI, no modo Steering e com mobiliário
5	Geometria real, no modo SFPE e sem mobiliário
6	Geometria real, no modo Steering e sem mobiliário

Fonte: Autoria própria.

Para o local de reunião de público A as simulações foram as constantes no Quadro 9:

Quadro 9: Simulações para a edificação B.

SIMULAÇÃO	CARACTERÍSTICAS
1	Geometria de PSCI, com população de NBR e no modo SFPE
2	Geometria de PSCI, com população de NBR e no modo Steering
3	Geometria de PSCI, com população de NT 12 e no modo SFPE
4	Geometria de PSCI, com população de NT 12, no modo Steering
5	Geometria de PSCI, com população de NBR, no modo Steering e

	com a saída 3 bloqueada
6	Geometria de PSCI, com população de NBR, no modo Steering e com a saída 2 bloqueada

Fonte: Autoria própria.

Para o local de reunião de público A as simulações foram as constantes no Quadro 10:

Quadro 10: Simulações para a edificação C.

SIMULAÇÃO	CARACTERÍSTICAS
1	Geometria e população de PSCI, no modo SFPE
2	Geometria e população de PSCI, no modo Steering
3	Geometria de PSCI, com população da NBR, no modo SFPE
4	Geometria de PSCI, com população da NBR, no modo Steering
5	Geometria Real, com população de NBR, no modo Steering
6	Geometria Real, com população de PSCI, no modo Steering com 2/3 dos ocupantes saindo pela entrada principal

Fonte: Autoria própria.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As edificações A, B e C descritas na metodologia, foram utilizadas nos estudos A, B e C respectivamente.

4.1 Estudo A

O Quadro 11 apresenta os dados de entrada do estudo A utilizados nas simulações realizadas.

Quadro 11: Dados de entrada do Estudo A.

Geometria do PSCI	Porta de Saída 1	Largura: 1,20 m
		2 unidades de passagem
	Porta de Saída 2	Largura: 4,00 m
		7 unidades de passagem
Geometria Real	Porta de Saída 1	Largura: 1,50m
		3 unidades de passagem
	Porta de Saída 2	Largura: 3,10m
		5 unidades de passagem
População	819 ocupantes	
Mobiliário	70 mesas distribuídas uniformemente	

Fonte: Autoria própria.

4.1.1 Simulação 1: Geometria de PSCI, no modo SFPE e sem mobiliário.

Na simulação 1 utilizou-se a arquitetura da edificação apresentada no projeto de segurança contra incêndio, o modo de evacuação escolhido foi o SFPE e não considerou-se a existência de mesas.

O tempo de evacuação obtido após a simulação é apresentado na Tabela 1 onde é possível constatar que foram necessários 149,3s, aproximadamente dois minutos e meio, para a saída de todos os ocupantes da edificação. No entanto observa-se que decorridos 1 minuto, apenas 35% das pessoas conseguiram abandonar o local, não atendendo o esperado pela NBR 9077, que seria evacuação total no tempo de 1 minuto.

Tabela 1: Tempo de evacuação da Simulação 1 – Estudo A.

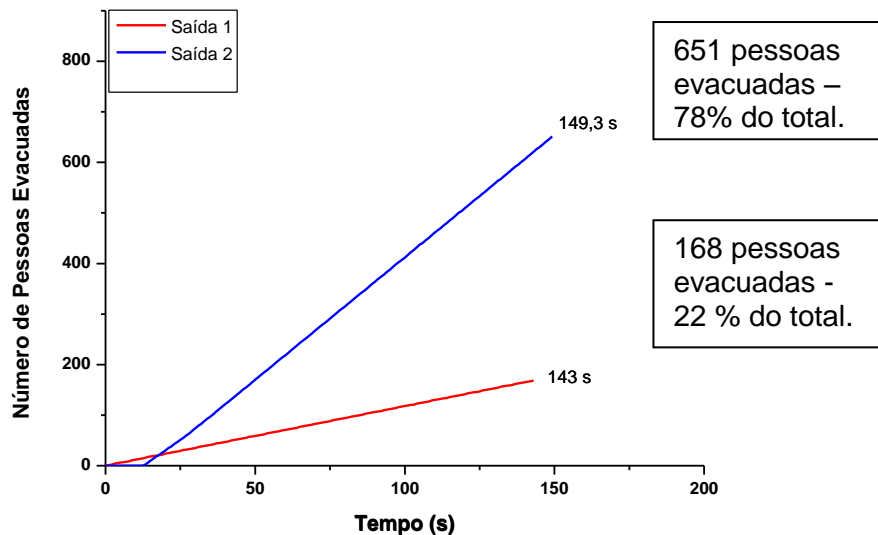
Tempo (s)	60	90	120	149,3
Pessoas evacuadas	289	470	650	819
Percentual (%)	35	57	79	100

Fonte: Autoria Própria

A evacuação do primeiro ocupante ocorre através da descarga 1 no instante de 0,4s enquanto que, a primeira pessoa, ao usar a saída 2, o faz no instante de 12,6s. A diferença de tempo gasta pelos primeiros ocupantes para saírem do local é consequência do posicionamento das saídas 1 e 2, ou seja, o leiaute da edificação. A saída 1, que também é a entrada principal do recinto, está localizada no salão destinado aos clientes, já entre a descarga 2 e o setor do público existe um corredor de aproximadamente 14 metros, justificando o maior tempo.

Apesar da saída 2 está arquitetonicamente mais distante que a 1, observa-se, pela Figura 7, que 78% da população abandona o local pela saída 2, enquanto apenas 22% das pessoas utilizam a saída 1. Este percentual é compreensível, uma vez que a saída 2 é bem mais larga que a 1. Destaque deve ser feito ao fato de os valores percentuais de pessoas evacuadas por saída estarem praticamente iguais ao percentual que cada saída representa na largura total da edificação, pois o somatório da largura das saídas de emergência perfaz o valor de 5,2 m [1,20 m (saída 1) + 4,0 m (saída 2)], dos quais, a saída 1 corresponde a 22% e saída 2 a 78% da largura total.

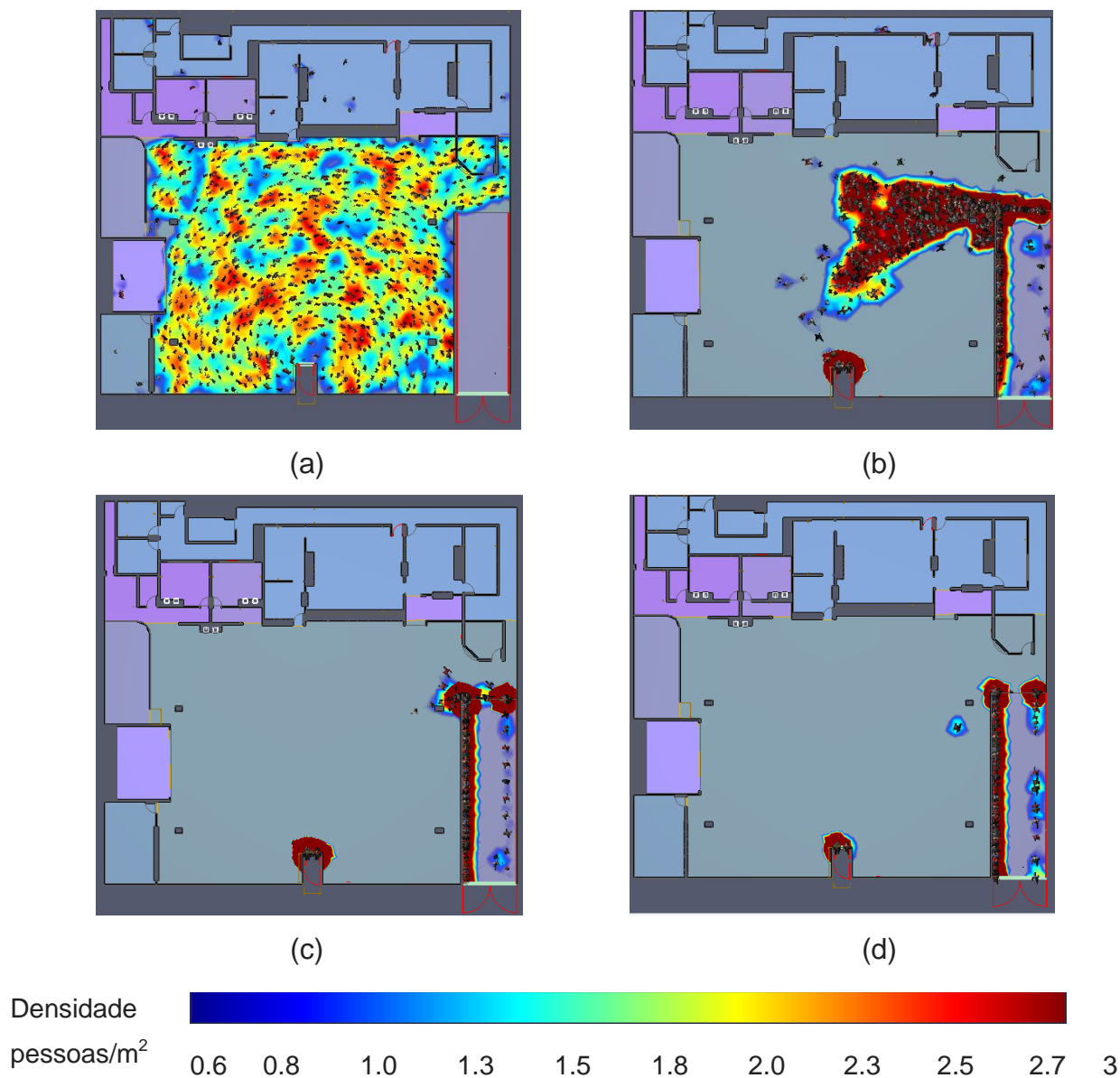
Figura 7: Gráfico do número de pessoas evacuadas por saídas x Tempo para Simulação 1 – Estudo A.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 8 apresenta a dinâmica de evacuação no modo SFPE nos tempos de 0, 15, 30 e 120 segundos. Na Figura 8 (a) é possível visualizar a distribuição randômica dos ocupantes na edificação antes do início da evacuação, onde se identificam regiões com maior concentração de pessoas, sendo a densidade máxima de 3 pessoas/m², caracterizadas por zonas vermelhas. Após iniciada a evacuação observa-se a distribuição das pessoas em filas na direção das saídas de emergência (Figura 8 b). Conforme Salyers e Jones (2011), o que ocorre é que as filas não são percebidas visualmente e os ocupantes parecem caminhar uns sobre os outros, pois o modo SFPE, por padrão, permite que várias pessoas possam ocupar o mesmo local. Decorridos 30s de evacuação, 109 pessoas abandonaram o local (Figura 8 c). Apesar de não ser identificado visualmente, o número de ocupantes que estão esperando nas filas (pessoas aglomeradas) formadas nas portas é fornecido pelo software. É importante ressaltar que esta informação só existe no modo SFPE. Devido a tal padrão do software, a Figura 8 (d) está semelhante à Figura 8 (c), embora representem quantidades diferentes de pessoas evacuadas em tempos distintos.

Figura 8 – Dinâmica da Simulação 1 – Número de pessoas (p) evacuadas e tempo de desocupação (s): (a) 819p e 0s, (b) 26p e 15s, (c) 109p e 30s, (d) 649p e 120s.

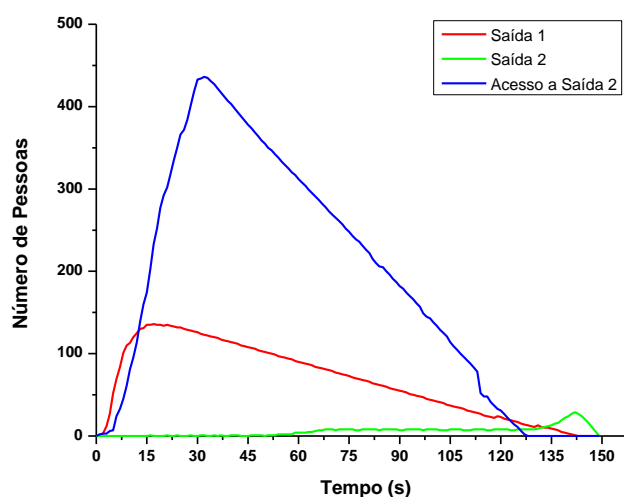


Fonte: Autoria própria.

Na Figura 9 são apresentadas as curvas do número de pessoas aglomeradas nas saídas 1 e 2. Para a saída 1, o máximo valor acontece no tempo de 17s quando 136 pessoas estão esperando para passar pela porta. Após tal instante observa-se uma redução no acúmulo de pessoas, embora o valor ainda seja relativamente alto. Já para a saída 2, verifica-se um baixo

número de pessoas aglomeradas. Isto acontece porque, arquitetonicamente, entre a área destinada aos clientes e a saída 2 existe um corredor, que proporciona um ordenamento na evacuação das pessoas. Em contrapartida, no acesso ao corredor da descarga 2 observa-se uma elevada aglomeração de pessoas, chegando, no instante 32s, ao valor de 436 pessoas acumuladas. Logo, uma análise meramente prescritiva poderia incorrer na conclusão de que as maiores aglomerações se formariam no entorno das descargas 1 e 2, mas como foi observado, o maior congestionamento se deu no acesso ao corredor da descarga 2.

Figura 9 – Gráfico do número de ocupantes esperando na fila para Simulação 1 – Estudo 1.



Fonte: Autoria própria.

Conforme Zang (2012), os valores de fluxo podem variar muito de acordo com as especificações e dados das diferentes literaturas, bem como os estudos experimentais diferem consideravelmente. Os dados referentes à taxa de fluxo e de fluxo específico obtidos para a simulação 1 estão apresentados na Tabela 2. Pode-se observar que a taxa de fluxo da saída 2 é cerca de quatro vezes o valor da saída 1, valor este esperado, tendo em vista a largura da saída 2. As taxas de fluxo média e máxima possuem números bem parecidos. Sendo assim, para uma melhor comparação das saídas de emergência, foi utilizado o fluxo específico, pois este parâmetro fornece valores que independem da largura, permitindo a comparação com outros estudos. O fluxo específico máximo para as duas saídas foi praticamente igual ao valor

máximo permitido pelo software, que utiliza os conceitos de Nelson e Mowrer (2002).

Tabela 2: Fluxos Específicos da simulação 1 - – Estudo A.

Saída	Taxa de Fluxo (pessoas/s)		Fluxo Específico (pessoas/s.m)	
	Médio	Máximo	Médio	Máximo
1	1,19	1,21	0,99	1,34
2	4,77	4,89	1,19	1,32

Fonte: Autoria própria.

Para a saída 1 o fluxo específico médio foi de 0,99 pessoas/m.s enquanto para a saída 2 foi de 1,19, já os fluxos específicos máximos foram praticamente iguais, com valores de 1,34 e 1,32 pessoas/s.m respectivamente, para as saídas 1 e 2.

Segundo a NBR 9077 e NT CBMPB 12, a “Capacidade de uma unidade de passagem é o número de pessoas que passa por esta unidade em 1 min”. Para locais de reunião de público, de maneira geral, acessos, descargas e portas (passagens horizontais), a capacidade de uma unidade de passagem é 100. Portanto, para uma unidade de passagem de 0,55m, um tempo de 60s (1 minuto) e uma capacidade de 100 pessoas por unidade de passagem, o fluxo específico obtido seria de 3,03 pessoas/(s.m). Este valor é bem superior ao encontrado na simulação o que indica um subdimensionamento das saídas de emergência se consideradas as especificações da norma. Já a Norma Técnica nº 010/2014 do CBMPB, regramento mais moderno e que é baseado em consolidados estudos de evacuação para estádios de futebol no mundo, tem o valor de 1,38 pessoas/(s.m) nas saídas horizontais, valor que está próximo aos obtidos na simulação (Tabela 2). Destaque deve ser dado para o fato de que a NT 010/2014 utiliza os conceitos de **tempo de saída** e de **taxa de fluxo** para o dimensionamento das saídas de emergência e não mais o conceito de unidade de passagem.

4.1.2 Simulação 2: Geometria de PSCI, no modo Steering e sem mobiliário.

A simulação 2 teve por objetivo discorrer sobre o modo Steering e comparar os modos de simulação disponibilizados pelo software (SFPE e Steering). Para tanto, foi utilizada a arquitetura da edificação apresentada no projeto de segurança contra incêndio e a existência de mesas não foi considerada.

Da Tabela 3, observa-se que o tempo total para evacuação é de 185s, pouco mais de 3 minutos, tempo superior em 35s à simulação 1 (Tabela 1). Passados um minuto do início do abandono do prédio, apenas 271 pessoas haviam conseguido deixar o local, 33%.

Tabela 3: Tempo de evacuação da Simulação 2 – Estudo A.

Tempo (s)	60	90	120	150	185
Pessoas evacuadas	271	396	578	720	819
Percentual (%)	33	48	71	88	100

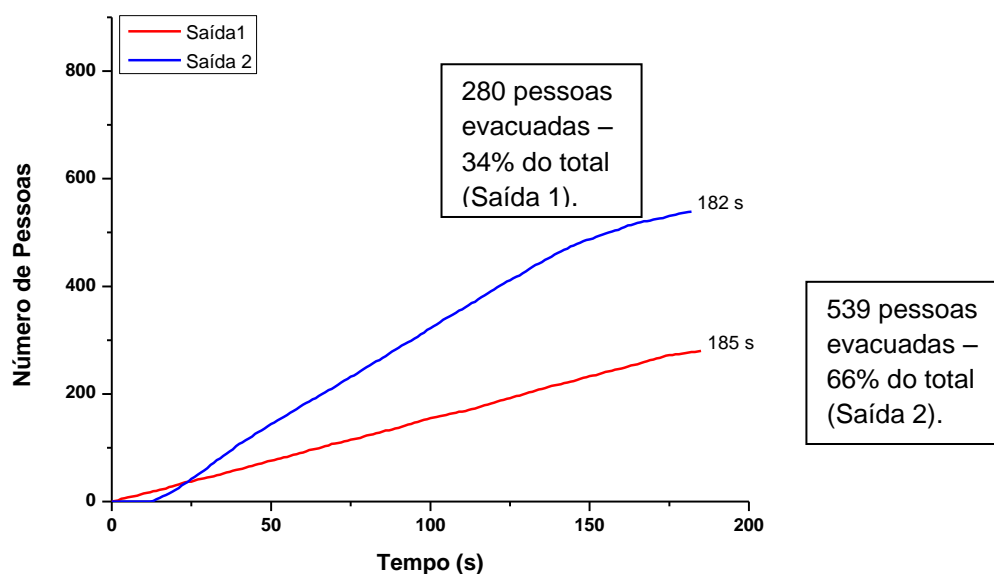
Fonte: A autoria própria.

A evacuação do primeiro ocupante ocorre através da descarga 1 no instante 0,8s enquanto que a primeira pessoa a usar a saída 2, o faz no instante de 12,4s. Na Figura 10 é possível observar que a maioria dos ocupantes utilizam a saída 2, porém num percentual menor ao que foi verificado na simulação 1.

No modo Steering é usada uma combinação de planejamento de trajetória, mecanismos de direção e manipulação de colisão para controlar o movimento dos ocupantes. Estes mantêm um caminho que liga a sua posição atual para um ponto correspondente à sua meta, que, neste caso, é a saída. Este caminho controla a rota que o ocupante percorre durante a simulação. Outros fatores, tal como, colisões com outros ocupantes, podem fazer com que o ocupante desvie do trajeto pretendido, mas o movimento do ocupante será mais ou menos em conformidade com o caminho escolhido. Se a distância entre o ocupante e o ponto mais próximo do caminho excede um valor limiar, o caminho é regenerado para acomodar a nova situação (RONCHI et. al. 2010).

Logo, por haver uma menor distância para se alcançar a saída 1, há um aumento no quantitativo de pessoas que a utilizam (34%), ao passo que na simulação 1 foram 21%. Tal conduta, proposta no modo Steering, seria uma aproximação de um comportamento real adotado pelas pessoas.

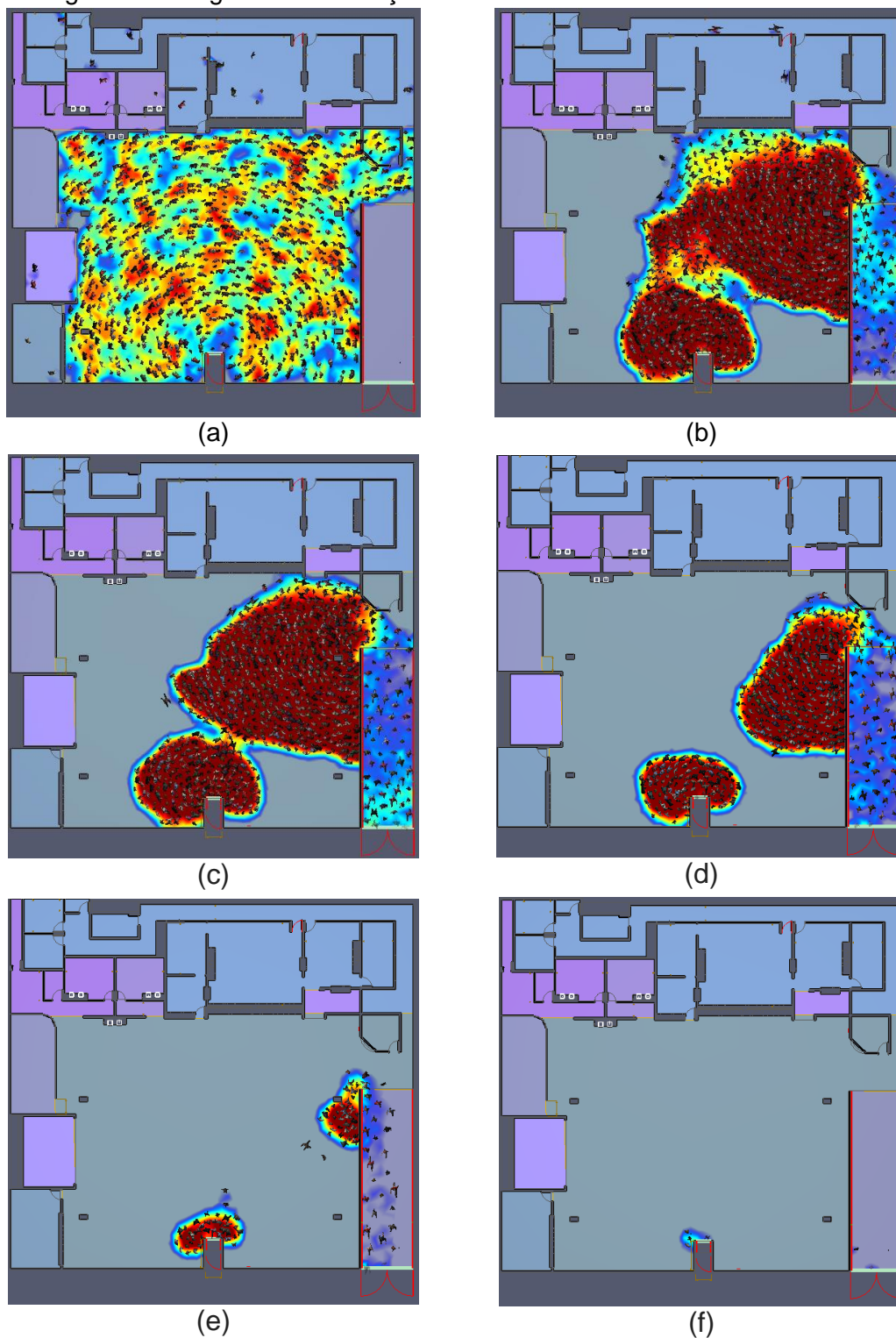
Figura 10: Gráfico do número de pessoas evacuadas por saídas x Tempo para Simulação 2 – Estudo A.



Fonte: Autoria própria.

Conforme Salyers (2011) os ocupantes, em modo Steering, modificam seu caminho e velocidade baseados na distância entre as pessoas e a localização das paredes ao longo de suas vias potenciais. Este modo tem em conta as colisões de outros ocupantes e obstruções, portanto, não permitindo que os ocupantes possam ocupar o mesmo espaço, como pode ser observado na Figura 11, diferenciando-se do modo SFPE. A Figura 11 apresenta a dinâmica da simulação 2 relacionando o número de pessoas (p) evacuadas e tempo de desocupação (s): (a) 819p e 0s, (b) 29p e 15s, (c) 107p e 30s, (d) 423p e 90s, (e) 719 p – 150s (f) 812 p – 180s.

Figura 11: Imagens da Simulação 2 – Estudo A.



Densidade



0.6 0.8 1.0 1.3 1.5 1.8 2.0 2.3 2.5 2.7 3

Fonte: Autoria própria.

Segundo Helbing, Farkas e Vicsek (2000), durante a evacuação de emergência os pedestres se aglomeram no espaço em torno do acesso de saída. A velocidade é reduzida decorrente do maior contato corpóreo entre as pessoas, o que causa efeitos adicionais de atrito e aumento na densidade da região. A distribuição das pessoas em volta da passagem lembra a forma geométrica de um arco, como fica visível nas Figuras 11 (c) e (d). O arco é decorrente da tentativa do pedestre desviar obstáculos ou pessoas que estejam muito próximas a ele e, se sustenta pela pressão exercida de quem está atrás sobre a pessoa que está na frente, impedindo a saída destes. Eventualmente quando os arcos se quebram, o fluxo de pedestres que deixam o local aumenta, até que um novo arco se forme.

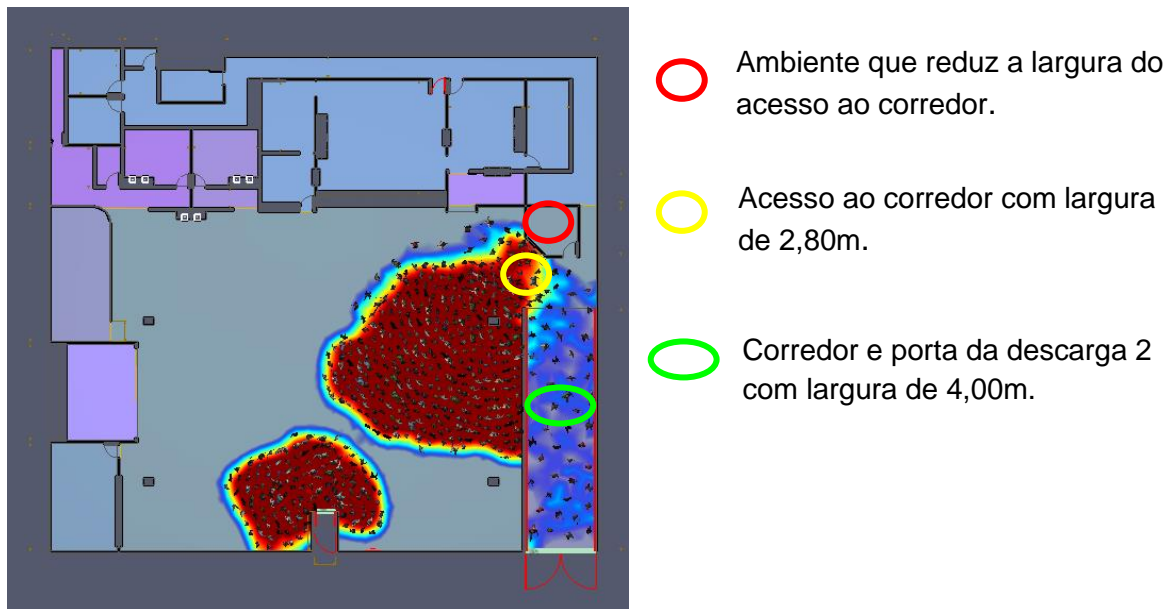
Esta já é outra relevante diferença em relação a simulação 1, onde só foi possível visualizar filas nas descargas, tendo-se que recorrer ao gráfico de pessoas esperando na fila (Figura 9), para identificar os gargalos ou congestionamentos das portas. Ainda da observação da Figura 11 (c) extrai-se que apenas 107 pessoas abandonaram o local, estando mais de 700 ocupantes aglomerados nestes arcos, situação perigosa, pois segundo Helbing e Molnár (1995), tempos longos de espera podem gerar ondas de choque devidas à impaciência.

Destaca-se o fato do maior arco ser formado em torno do corredor da descarga 2. Isto ocorre, pois na edificação há um ambiente que diminui a largura efetiva do acesso a este corredor (Figura 12). No PSCI a saída 2 possui 4m de largura, essa dimensão é observada na porta e no corredor, porém, não foi levada em consideração a existência de um ambiente, no acesso ao corredor, que produz um estreitamento em sua largura, que passa a ter aproximadamente 2,8m.

Os textos normativos, NBR 9077 e NT CBMPB 12, preconizam que a largura das saídas de emergência deve ser medida no seu ponto mais estreito. Contudo, tal estreitamento passa facilmente despercebido, pois durante a concepção do PSCI, a atenção é voltada para a descarga e seu entorno. Daí a importância dos modelos computacionais de abandono que são parte integrante da análise baseada em desempenho para avaliar as condições de fuga da edificação (MATTEDI, 2005), identificando locais de formação de

gargalos ou congestionamentos que não seriam percebidos pela simples análise da planta ou do cálculo manual.

Figura 12: Imagem representativa da arquitetura da edificação A.



Fonte: Autoria própria.

Como já era de se esperar, a taxa de fluxo da saída 2 (Tabela 4) é maior tendo em vista sua maior largura e, o dobro do valor em relação a taxa de fluxo da saída 1. O fato do fluxo específico da saída 1 ser bem maior que o da saída 2, indica uma maior utilização da saída 1 e uma subutilização da descarga 2. Diferente da simulação 1, o fluxo específico máximo da descarga 1 ultrapassa o valor de 1,33pessoas/s.m, definido como máximo por Nelson e Mowrer (2002).

Tabela 4: Fluxos Específicos da simulação 2 – Estudo A.

Saída	Taxa de Fluxo (pessoas/s)		Fluxo Específico (pessoas/s.m)	
	Médio	Máximo	Médio	Máx
1	1,53	1,74	1,28	1,45
2	3,19	4,35	0,80	1,08

Fonte: Autoria Própria

4.1.3 Simulação 3: Geometria de PSCI, no modo SFPE e com mobiliário.

O objetivo desta simulação foi observar a influência do mobiliário na evacuação da edificação. Foi utilizada a arquitetura da edificação apresentada no PSCI. O modo de simulação foi SFPE e buscou-se representar a existência de mobiliário através da inserção de 70 mesas distribuídas uniformemente.

Para as edificações da pesquisa, que são clubes sociais, do tipo restaurante dançante, a existência de mesas é algo comum, com dimensões, disposição e quantidade que variam de acordo com as características do estabelecimento. Obviamente, quando ocorre a inclusão das mesas no salão, há uma sensível redução na área ocupável, com uma teórica redução na população. Costumeiramente os proprietários estimam o valor máximo de clientes que seu estabelecimento pode receber, pela quantidade de cadeiras disponibilizadas. No entanto, a quantidade de assentos pode sofrer variações e o número de pessoas também, pois em determinados eventos, o leiaute é modificado e muitas pessoas ficam em pé, dadas as características dançantes do ambiente.

Logo, o parâmetro para definição da população não pode ficar vinculada a quantidade de assentos. A vinculação da quantidade de assentos e a quantidade de pessoas ocorrem em locais como arquibancadas, onde não existem outras áreas livres a serem ocupadas pelas pessoas, o que não é o caso dos restaurantes dançantes. Então, buscando um valor mais próximo da realidade, a NT CBMPB 12 traz a seguinte nota: *“para a ocupação ‘restaurante dançante’ e ‘salão de festas’ onde há mesas e cadeiras para refeição e pista de dança, o parâmetro para cálculo de população é de 1 pessoa por 0,67 m² de área”*.

O resultado da simulação mostrou que o tempo de evacuação foi idêntico ao da simulação 1, como pode ser constatado na Tabela 5, indicando que a existência do mobiliário não interferiu no tempo total de escape e corroborando com o resultado obtido em estudo semelhante realizado por Valentim (2008).

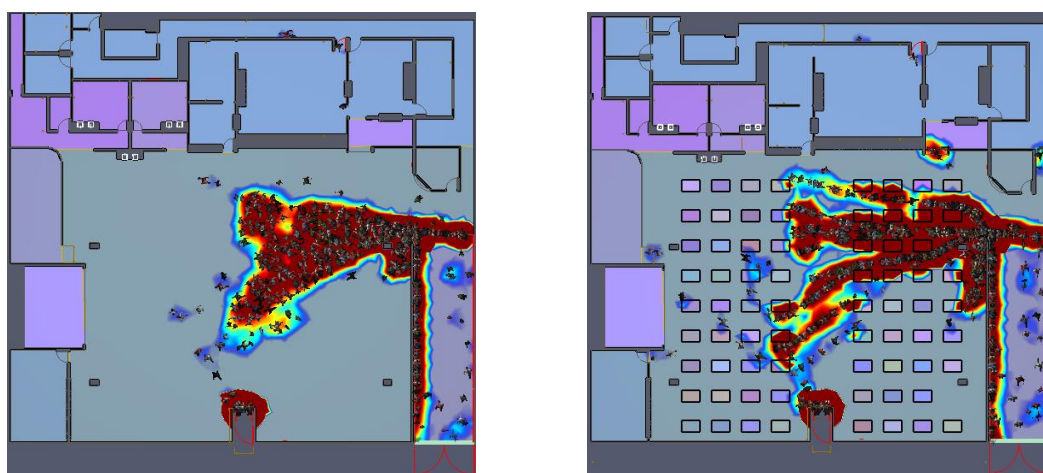
Tabela 5 - Tempo de evacuação da Simulação 3 – Estudo A.

Tempo (s)	60	90	120	149
Pessoas evacuadas	290	471	652	819
Percentual (%)	35	57	79	100

Fonte: Aatoria própria.

Este fato pode ser confirmado ao se observar a Figura 13 (a) que representa o abandono da edificação sem mobiliário e a Figura 13 (b) com a inclusão do mobiliário, onde identifica-se a formação de filas por entre as mesas com direção as saídas. Na Figura 13 (b) as filas formadas no salão são maiores que as da Figura 13 (a), contudo pode-se concluir que o tempo gasto aguardando nas saídas, é maior que o tempo de deslocamento por entre as mesas, fazendo com que estas não exerçam influência no tempo final de abandono, para o modo SFPE.

Figura 13: Simulações 1 (a) e 3 (b) no tempo de 15s – Estudo A.



(a)

(b)

Densidade

peçoas/m²



0.6 0.8 1.0 1.3 1.5 1.8 2.0 2.3 2.5 2.7 3

Fonte: Aatoria própria.

Devido a não interferência do mobiliário, os demais resultados obtidos para taxa de fluxo e fluxo específico foram iguais aos da simulação 1, motivo pelo qual serão suprimidos dessa discussão.

4.1.4 Simulação 4: Geometria de PSCI, no modo *Steering* e com mobiliário.

Para a simulação 4 foi utilizada a arquitetura da edificação apresentada no PSCI, o modo de simulação foi *Steering* e a existência de mesas foi considerada. Esta simulação teve por objetivo verificar a influência que o mobiliário exerce na evacuação para esse modo de simulação.

Para a realização da evacuação total da edificação foram necessários mais de 3 minutos e meio (Tabela 6), um aumento de 27s (15%) quando comparada a simulação sem mobiliário. Decorridos um minuto de abandono, 278 pessoas teriam deixado o local, valor próximo ao encontrado para a simulação 2, que foi de 271 pessoas.

Tabela 6 - Tempo de evacuação da Simulação 4 – Estudo A.

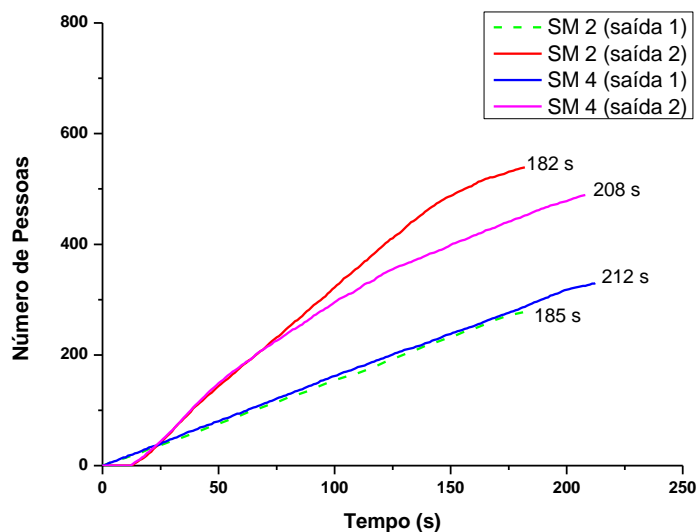
Tempo (s)	60	90	120	150	180	212
Pessoas evacuadas	278	412	537	637	732	819
Percentual (%)	34	50	66	78	89	100

Fonte: Autoria Própria

Ao passar do tempo, a diferença entre as simulações 2 e 4 vão se acentuando, como pode ser observado na Figura 14, havendo uma redução na quantidade de pessoas que utilizam a saída 2, que passou de 539 para 489 com conseqüente aumento do uso da saída 1.

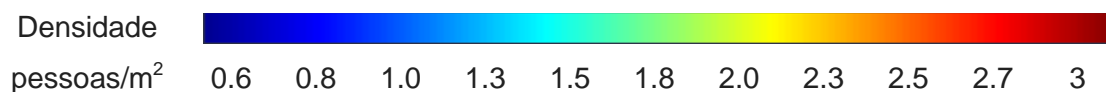
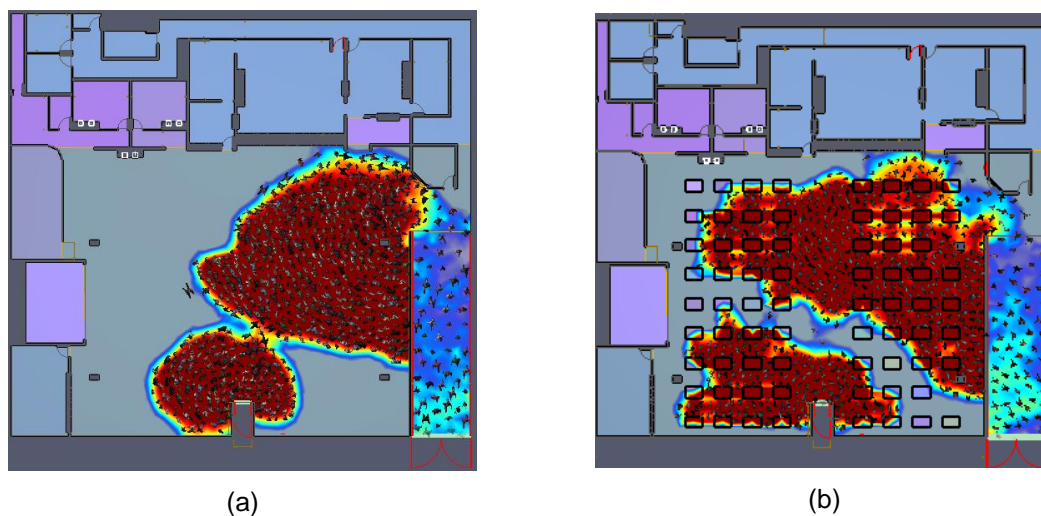
Essa mudança é justificada pelo aumento no percurso para se alcançar as saídas, principalmente a descarga 2, ocasionada pelo mobiliário, pois, nesta situação, os ocupantes terão que desviar das mesas. Além disso, há um aumento no tempo de espera dos ocupantes que se dirigiam a saída 2. A Figura 15 (b) apresenta esta situação, comparando com a simulação 2, que é representada pela Figura 15 (a), ambas no instante de 30s.

Figura 14: Gráfico comparativo das Simulações 2 e 4 (Número de Pessoas evacuadas x Tempo).



Fonte: Autoria Própria

Figura 15: Simulações 2 (a) e 4 (b) no tempo de 30s.



Fonte: Autoria própria.

Com relação à taxa de fluxo e fluxo específico (Tabela 7), observou-se, na simulação 4, um pequeno aumento nos valores médios obtidos da saída 1, com conseqüente redução nos valores da saída 2, quando comparadas a

simulação 2, este fato correu devido ao maior uso da saída 1 pelos ocupantes na simulação 4.

Tabela 7: Fluxos Específicos da simulação 4 – Estudo A.

Saída	Taxa de Fluxo (pessoas/s)		Fluxo Específico (pessoas/s.m)	
	Média	Máximo	Médio	Máximo
1	1,56	1,77	1,3	1,48
2	2,51	4,42	0,63	1,11

Fonte: Autoria Própria

4.1.5 Simulação 5: Geometria real, no modo SFPE e sem mobiliário.

A simulação 5 teve o objetivo de verificar a influência que possíveis alterações nas plantas do PSCI, aprovadas pelo CBMPB, poderiam causar no tempo de evacuação das pessoas na edificação estudada. Para tanto foi realizada uma inspeção na edificação, em horário de funcionamento e checada a conformidade ou não do projeto com a situação real. Infelizmente foram encontradas diferenças significativas entre o projeto e a edificação em funcionamento, inclusive com mudanças arquitetônicas, que afetaram principalmente as medidas de segurança concernentes às saídas de emergência. Conforme prevê a NT CBMPB 11, quando da mudança do leiaute da edificação que torne ineficaz ou prejudique as medidas de segurança previstas, o responsável pelo uso deve proceder à substituição do PSCI, momento no qual será realizada nova análise pelo CBMPB para verificação do atendimento da legislação em vigor.

Essas situações se assemelham as condutas de risco que agravaram o incêndio e colaboraram para a tragédia na Boate Kiss foi a reforma da edificação com incorporação de material inflamável, sem que fossem notificadas as autoridades, em especial o Corpo de Bombeiros (Relatório CREA-RS, 2013). O responsável pelo uso do prédio tem total responsabilidade por atitudes negligentes como estas, contudo os órgãos de fiscalização devem, permanentemente, realizar fiscalizações em estabelecimentos de alto risco como é o caso dos locais de reunião de público. Pode-se destacar também que, frequentemente, ocorre a realização de mudanças nas edificações sem a devida aquiescência do Corpo de Bombeiros.

A partir do documentário fotográfico apresentado na Figura 16, podem ser identificadas as divergências encontradas na edificação. No acesso ao corredor da saída 2, foi construída uma parede de gesso, reduzindo a passagem para 1 m de largura (Figura 16 a); o corredor de acesso a descarga 2 é utilizado como depósito de materiais diversos (Figura 16 b); a porta da saída 2 não possui ferragem anti-pânico e, além disso, é mantida fechada com cadeado (Figura 16 c e d). A única mudança a favor da segurança foi o aumento da largura da porta de saída 1 que, in loco, estava com 1,5m de largura (Figura 17).

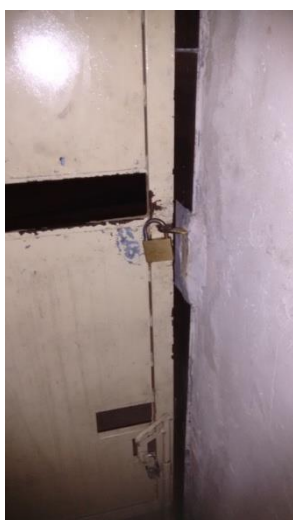
Figura 16: Fotos da vistoria da edificação A.



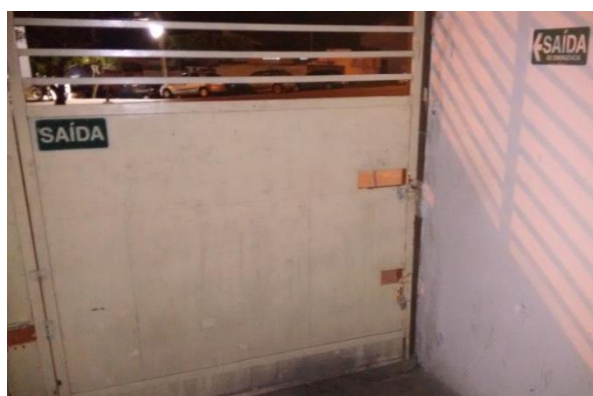
(a)



(b)



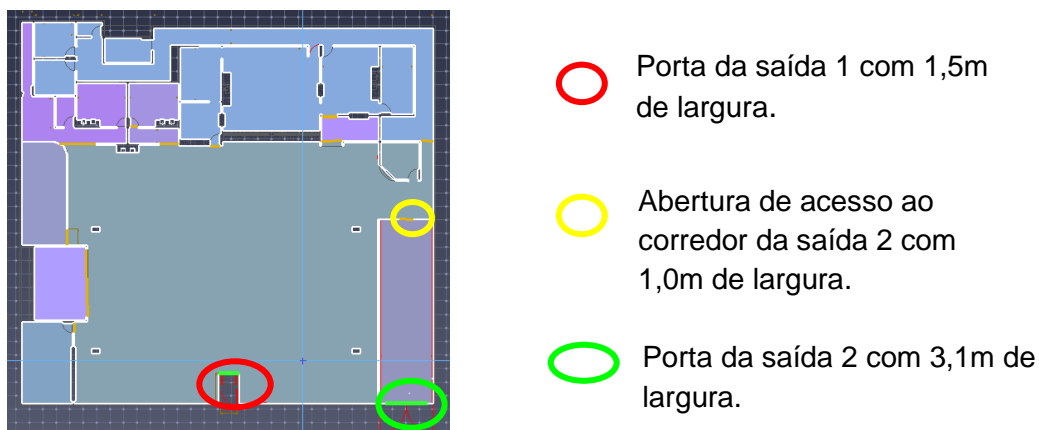
(c)



(d)

Fonte: Autoria própria.

Figura 17: Representação da edificação A como verificado in loco.



Fonte: Autoria própria.

Tendo em vista a redução da largura no acesso ao corredor da saída 2, pode-se considerar que esta saída, teve sua largura reduzida para 1,0 m. Isto porque todos os ocupantes que utilizarem a saída 2 terão que vencer tal gargalo para alcançar uma área de segurança, mesmo tendo a descarga 2 uma largura de 3,10 m. Desta maneira, a edificação passa a ter uma largura total de saídas de emergência de 2,5 m, sendo 60% da largura na saída 1 e 40% na saída 2.

Foi utilizado o modo SFPE, sem mobiliário, pois das simulações 1 e 3, observou-se que o mobiliário não apresenta maiores interferências no modo SFPE. O tempo total de evacuação foi de 6 minutos (Tabela 8), valor elevado tendo em vista a recomendação do NIST.

Tabela 8: Tempo de evacuação da Simulação 5 – Estudo A.

Tempo (s)	60	90	120	150	300	361
Pessoas evacuadas	138	213	287	363	735	819
Percentual (%)	17	26	35	44	90	100

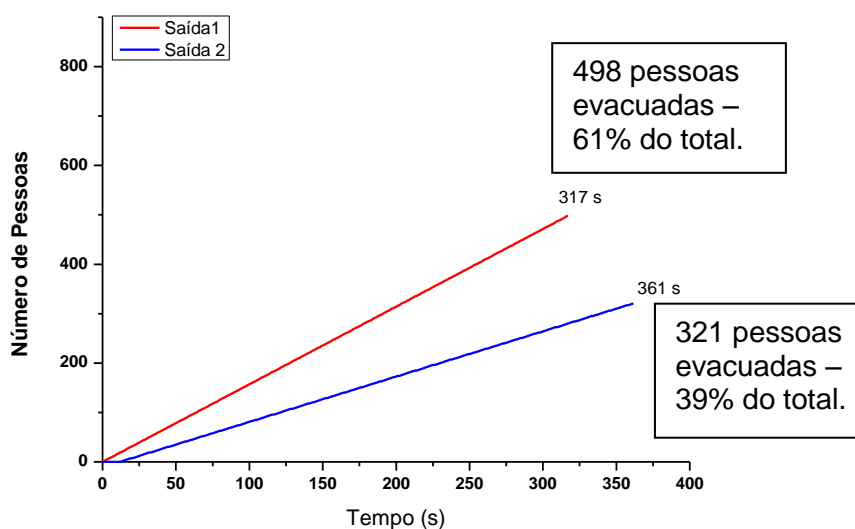
Fonte: Autoria própria.

Diferente da simulação 1, onde quase 80% das pessoas utilizaram a saída 2, nesta simulação a saída mais utilizada foi a 1, sendo a opção de 61% dos ocupantes (Figura 18). Este resultado é decorrente da mudança arquitetônica realizada no prédio. Interessante destacar que, o percentual de pessoas que utilizaram as saídas é correspondente ao percentual da largura

que a saída possui em relação à largura total disponível para a edificação, fato também observado na simulação 1.

O último ocupante a utilizar a descarga 1 o faz no tempo de 317s, enquanto o término do uso da saída 2 só ocorre aos 361s, uma diferença de 44s, tempo suficiente para que os ocupantes possam procurar uma saída mais livre, mas isto não ocorre, pois no modo SFPE, que é um modelo de movimento, a quantidade de ocupantes que utilizam as saídas é proporcional a largura destas, mesmo que haja um acréscimo no tempo total de evacuação.

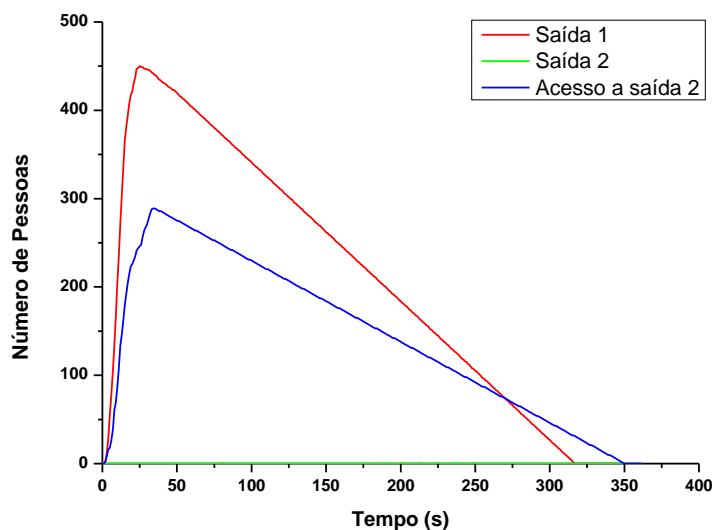
Figura 18: Gráfico do número de pessoas evacuadas por saídas x Tempo para Simulação 5 – Estudo A.



Fonte: Autoria própria.

Nesta simulação o número de ocupantes esperando na fila (Figura 19) é superior ao obtido na simulação 1. A saída 1 passa a ser a que apresenta a maior aglomeração, com 450 pessoas esperando na fila para sair no instante de 25s. O acesso a saída 2 tem seu pico no tempo de 34s com 289 ocupantes esperando na fila. A grande diferença em relação a simulação 1, é a saída 2 que, em momento algum, apresenta congestionamento, fruto do grande gargalo que a antecede.

Figura 19: Gráfico do número de ocupantes esperando na fila para Simulação 5 – Estudo A.



Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 9, pode-se observar os baixos valores do fluxo específico da saída 2, sendo o valor máximo de apenas 0,35 pessoas/s.m, isto porque mesmo tendo uma largura considerável (3,10 m) poucas pessoas chegam até ela, decorrente do gargalo formado no acesso a saída 2. Já este acesso chega a ter picos de 1,38 pessoas/s.m, enquanto que para a saída 1 observa-se um valor próximo ao da simulação 1, de 1,32 pessoas/s.m.

Tabela 9: Fluxos Específicos da simulação 5 – Estudo A.

Saída	Taxa de Fluxo (pessoas/s)		Fluxo Específico (pessoas/s.m)	
	Médio	Máximo	Médio	Máx
1	1,58	1,6	1,05	1,32
2	0,92	0,97	0,30	0,35

Fonte: Autoria própria.

4.1.6 Simulação 6: Geometria real, no modo Steering e sem mobiliário.

O objetivo desta simulação foi verificar a influência que a mudança da arquitetura produzirá na evacuação, com o modo de simulação Steering. Para tanto a simulação 6 foi comparada com a simulação 2, que também utiliza o modo Steering, foi feita com base no PSCI aprovado pelo CBMPB e está sem mobiliário.

A Tabela 10 apresenta os valores de fluxos específicos obtidos na simulação 6. Observa-se, pela tabela, um tempo total de evacuação de mais de cinco minutos, existindo um acréscimo no tempo de 128s entre as simulações 2 e 6. A primeira pessoa a abandonar a edificação o faz em 0,8s pela descarga 1 e a primeira a sair pela descarga 2 o faz em 12,6s, igual a simulação 2.

Tabela 10: Fluxos Específicos da simulação 6 – Estudo A.

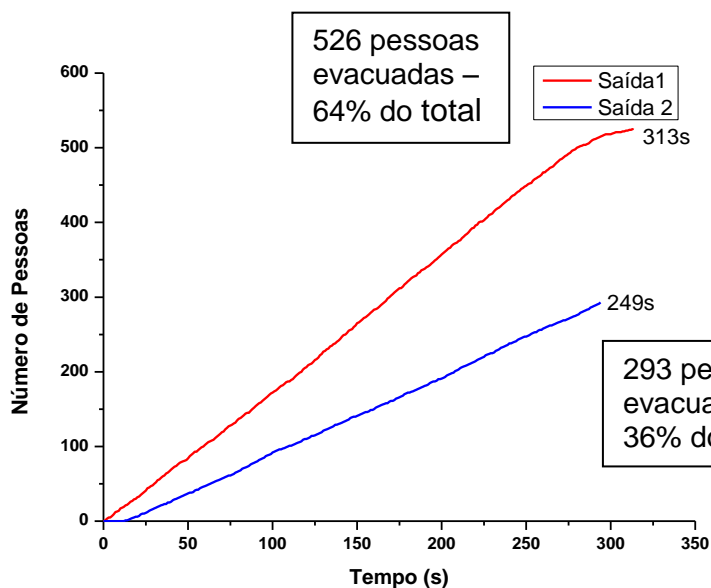
Tempo (s)	60	90	120	150	300	313
Pessoas evacuadas	149	233	316	406	811	819
Percentual (%)	18	28	39	50	99	100

Fonte: Autoria própria.

O tempo total de escape da simulação 6 é menor que a simulação 5 (quando utilizado o modo SFPE), contrariando o que vinha acontecendo nas simulações anteriores, onde o modo SFPE sempre apresentava tempos menores que o modo Steering. Este resultado expressa que, numa situação de subdimensionamento das saídas de emergência, o modo Steering permite aos ocupantes um comportamento mais adaptativo, enquanto que o modo SFPE fica restrito a formação de filas proporcionais a largura das saídas, indicando também que o comportamento em filas num caso de poucas saídas ou saídas insuficientes nem sempre é o mais eficiente. A última pessoa a abandonar a edificação o faz pela descarga 1, que é a de maior uso, no tempo de 313s, 19s depois de cessado a evacuação pela descarga 2.

Nesta simulação, a descarga 1 é a mais utilizada, com 64% (Figura 20) das pessoas utilizando-a em contra posição a simulação 2, na qual a saída 2 é a mais utilizada (66%). Praticamente os usos são invertidos, mas mantendo relações percentuais bem semelhantes.

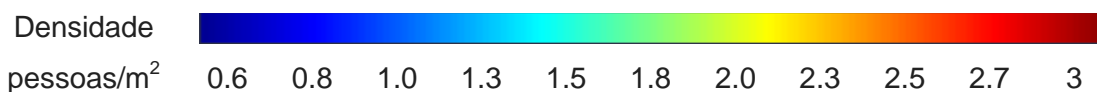
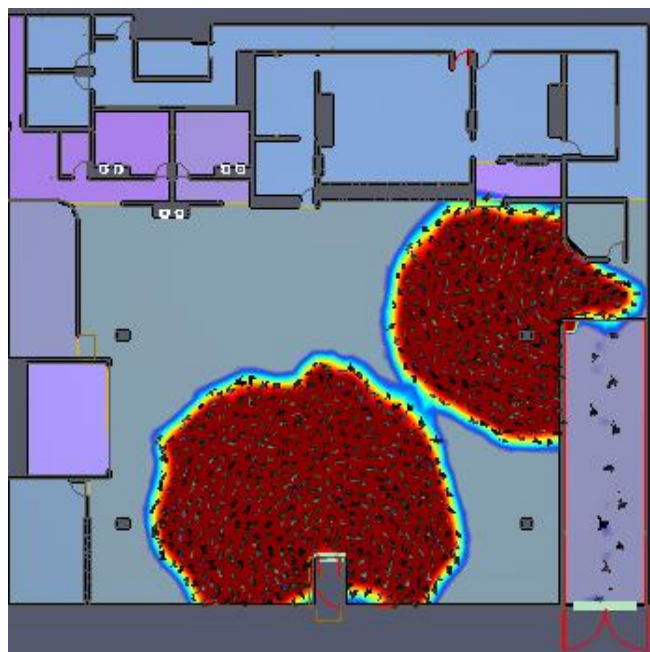
Figura 20: Gráfico do número de pessoas evacuadas por saídas x Tempo para Simulação 6 – Estudo A.



Fonte: Autoria própria.

Da Figura 21 é possível observar a formação de dois grandes arcos, maiores que os da simulação 2, pois decorridos 30s de evacuação, apenas 67 pessoas abandonaram a edificação, quando para a simulação 2, no mesmo tempo 107 ocupantes já haviam deixado o local. Saboia (2010) relata a existência de afunilamentos no fluxo de pedestres os quais podem levar a dois efeitos. Na aproximação do estreitamento, o fluxo diminui. A consequência é o aumento da densidade de pessoas, configurando o efeito de gargalo. Logo após os afunilamentos, a velocidade da multidão aumenta e a densidade diminui, mas os pedestres continuam percorrendo o espaço como se ainda estivessem na região mais estreita, ou seja, o espaço disponível depois do afunilamento não é completamente preenchido. Conhecido como efeito de canto, este fenômeno representado na Figura 21 mostra como o comportamento da multidão é influenciado pela geometria do ambiente.

Figura 21: Representação da formação de arcos no entorno das saídas da simulação 6 – Estudo A.



Fonte: Autoria própria.

A taxa de fluxo da saída 1 é maior que a da saída 2 (Tabela 11), mesmo esta possuindo uma maior dimensão, devido a existência de um estreitamento em seu acesso. Este fato também é o que justifica o baixo fluxo específico obtido para a descarga 2, bem inferior ao da saída 1.

Tabela 11: Fluxos Específicos da simulação 6 – Estudo A.

Saída	Taxa de Fluxo (pessoas/s)		Fluxo Específico (pessoas/s.m)	
	Médio	Máximo	Médio	Máx
1	1,68	2,05	1,12	1,37
2	1,04	1,26	0,34	0,40

Fonte: Autoria Própria

4.2 Estudo B

A edificação enquadra-se na categoria restaurante dançante por possuir mesas e locais para dança (Figura 22). Das três edificações estudadas esta se destaca, positivamente, por possuir três saídas de emergência, uma a mais do que o mínimo exigido pelas normas. Além disso, foi constatado, no momento da visita in loco, que o estabelecimento possuía grande parte das medidas de segurança previstas no PSCI, como foi o caso da existência de luminárias e sinalização de emergência, extintores de incêndio, brigada de incêndio e barras antipânico nas portas conforme indicado na Figura 23.

Contudo ainda foram identificadas divergências entre a edificação e o PSCI. Na porta de entrada, que também é saída de emergência, não existia barra antipânico, Figura 23 (a). O posicionamento das luminárias de emergência que, ao invés de estarem fixadas nas paredes, foram instaladas no teto. O PSCI informa que as luminárias deveriam ser instaladas a 2,5m de altura, no entanto, durante a visita foi observado que as luminárias do salão estavam fixadas a cerca de 3,8m de altura. Também foi possível verificar que a largura das descargas sofreram reduções, porém não tão significativas quanto as do Estudo A. Não foram particularizadas simulações com a geometria real, pois as diferenças entre as larguras das saídas no PSCI e encontrada in loco foram mínimas.

Considerando que o mobiliário não exerceu significativa diferença no tempo total de evacuação no modo SFPE, simulações com estas particularidades não serão detalhadas. Porém, é possível inferir que o mobiliário exerce influência na quantidade de pessoas que ocuparão o espaço, como apresentado na simulação 3 do Estudo A. Além disso, o PSCI propõe um valor de população considerando a existência de mesas, valor este que ficou próximo ao que seria obtido se fosse utilizado o coeficiente de densidade ocupacional estabelecido pela NT CBMPB 12 para restaurantes dançantes. Portanto, optou-se por simular a edificação com a população prevista para a NBR 9077 (1pessoa:0,5 m²) e para a NT CBMPB 12 (1pessoa:0,67 m²).

Figura 22: Fotos da edificação B quando da vistoria.



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autoria própria.

Figura 23: Portas da edificação B.



(a)

(b)

(c)

Fonte: Autoria própria.

O Quadro 12 traz os dados de entrada do estudo B e utilizados nas simulações realizadas.

Quadro 12: Dados de entrada do Estudo B

Geometria do PSCI	Porta de Saída 1	Largura: 1,30m
		2 unidades de passagem
	Porta de Saída 2	Largura: 1,20m
		2 unidades de passagem
Porta de Saída 3	Largura: 1,20m	
	2 unidades de passagem	
População	NBR 9077	587 ocupantes
	NT 12	440 ocupantes

Fonte: Autoria Própria.

4.2.1 Simulação 1: Geometria de PSCI, com população de NBR e no modo SFPE

As primeiras pessoas cruzam a saída no tempo de 0,4s através das descargas 2 e 3, sendo o tempo total de escape para a edificação de cerca de 3 minutos (Tabela 12), não atendendo aos requisitos mínimos definidos pela

NBR 9077 e pela NT CBMPB 12. Para uma edificação térrea que atenda aos parâmetros prescritivos espera-se que a evacuação ocorra no tempo máximo de 1 minuto, haja vista que as saídas têm capacidade para evacuar 600 pessoas por minuto, conforme as normas citadas. No entanto, decorridos 1 minuto, apenas 38% das pessoas conseguiram evacuar o local.

Tabela 12: Tempo de evacuação da Simulação 1 – Estudo B.

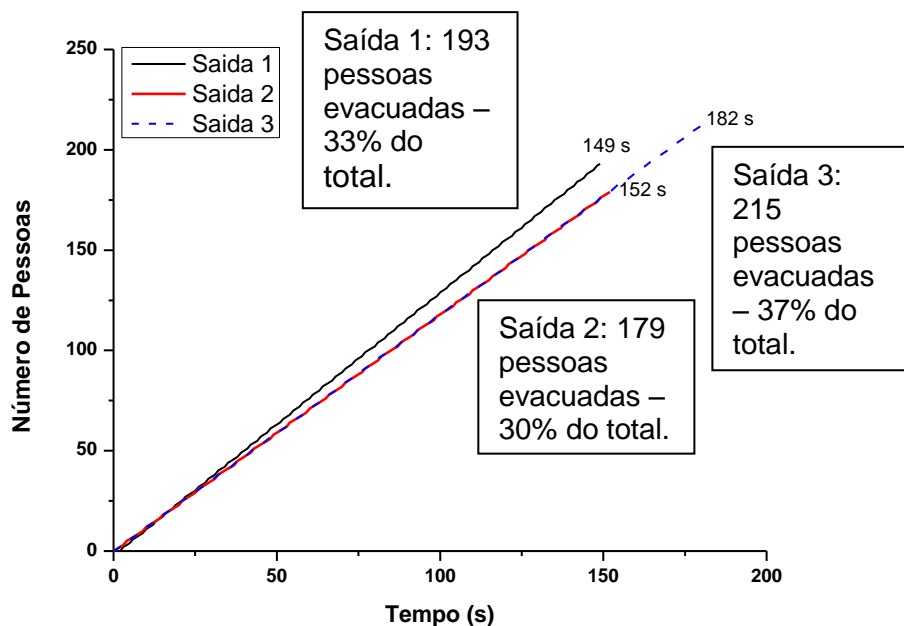
Tempo (s)	60	90	120	150	182
Pessoas evacuadas	218	328	437	547	587
Percentual (%)	38	56	74	93	100

Fonte: A autoria própria.

Também foi realizada uma simulação com a inserção de mesas conforme quantidade contabilizada no momento da visita (80 mesas circulares com 70 cm de diâmetro e 10 mesas quadradas de 60 cm de lado, num total de 90 mesas). Na simulação com mobiliário o tempo total de evacuação foi de 187s, aumentando o tempo em apenas 5s, novamente indicando que o mobiliário pouco interfere no escape das pessoas, como já observado na simulação 3 do estudo A e corroborando com o estudo de Valentim (2008).

A evacuação pelas saídas 2 e 3 tem comportamentos idênticos (Figura 24), o que já era de se esperar por possuírem larguras iguais. Passam a diferenciar-se a partir do instante 152s, momento no qual a evacuação na saída 2 é cessada, mas continua na saída 3 por mais 30s, enquanto na saída 1 o escape é encerrado no tempo de 149s. Provavelmente, tal fato ocorre porque a saída 3 está mais próxima do público, justificando assim o seu maior uso, sendo, inclusive, mais utilizada que a saída 1, mesmo tendo esta, a de maior largura.

Figura 24: Gráfico do número de pessoas evacuadas por saídas x Tempo, para Simulação 1 – Estudo B.

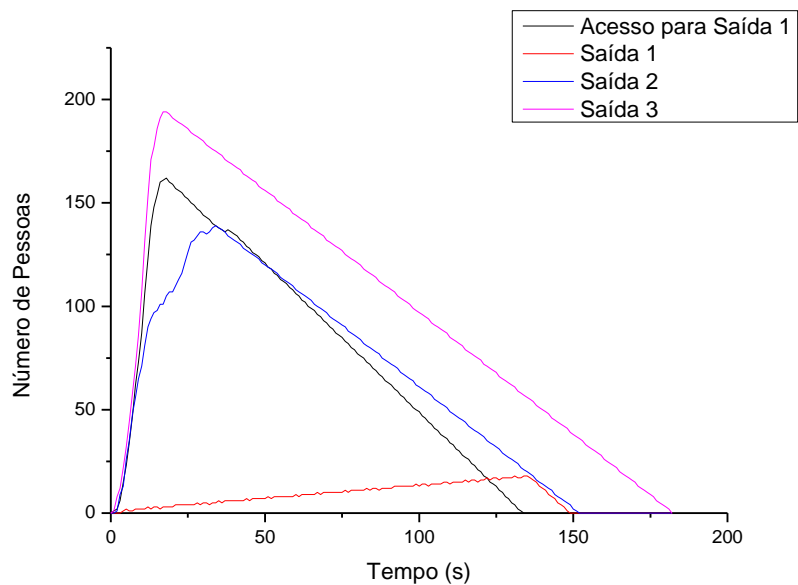


Fonte: Autoria própria.

Na Figura 25 é apresentado o quantitativo de pessoas aglomeradas nas filas formadas nas saídas 1, 2 e 3 e na porta de acesso a saída 1, tendo em vista que, esta porta limita a quantidade de ocupantes que chegam até a saída 1. Para a saída 1 é observado um baixo número de pessoas aglomerados sendo o seu valor máximo de 18 pessoas no instante de 131s, valores baixos que são justificados pelos elevados números observados na porta de acesso a saída 1, que alcança o número de 162 pessoas, em 18s. Para a saída 2 o máximo valor é de 139 ocupantes, em 34s e a saída 3, que é a mais utilizada, no tempo de 17s atinge o número de 194 pessoas esperando na fila.

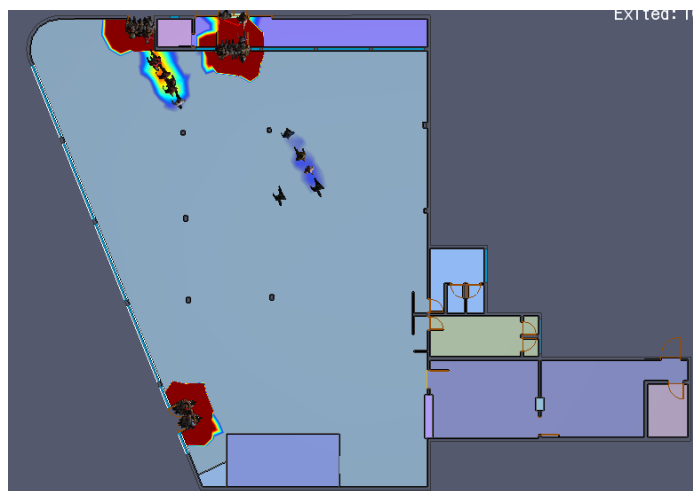
Para a edificação como um todo, o tempo de 26s foi onde se observou o maior congestionamento, com 469 pessoas (80% da população total) esperando nas filas formadas nas saídas, com apenas 104 ocupantes tendo conseguido abandonar o local e 16 se dirigindo até as saídas neste mesmo instante (Figura 26).

Figura 25: Gráfico do número de ocupantes esperando na fila para Simulação 1 – Estudo B.



Fonte: Autoria própria.

Figura 26: Simulação 1 no tempo de 29s - Estudo B.



Fonte: Autoria própria.

Os valores médios de taxa de fluxo e fluxo específico para as saídas 2 e 3 (Tabela 13) são os mesmos e os valores máximos são praticamente iguais. Semelhantes também aos valores médios da saída 1, simulação 1, do estudo A. Em comum todas elas tem a mesma largura da saída, que é de 1,2 m.

Tabela 13: Fluxos Específicos da simulação 1 – Estudo B.

Saída	Taxa de Fluxo (pessoas/s)		Fluxo Específico (pessoas/s.m)	
	Médio	Máximo	Médio	Máx
1	1,32	1,37	1,02	1,37
2	1,18	1,26	0,98	1,4
3	1,18	1,24	0,98	1,38

Fonte: Autoria própria.

Interessante destacar que a luz da NBR 9077, as saídas 1, 2 e 3 possuem a mesma quantidade de unidades de passagem, logo tem a mesma capacidade. No entanto, como é possível observar na Tabela 13, a saída 1 apresenta valores superiores aos da saída 2 e 3, mostrando assim que os 10cm a mais de largura fazem diferença numa evacuação. A norma não permite considerar nos cálculos os valores que ultrapassem os múltiplos de 0,55 m (unidade de passagem).

4.2.2 Simulação 2: Geometria de PSCI, com população de NBR e no modo Steering.

Nesta análise foi utilizado o modo de simulação Steering. Verificou-se um tempo de escape bem menor que o da simulação 1 – Estudo B, cerca de um minuto a menos. Contudo, ainda não atingi o tempo esperado pela NBR 9077, pois transcorridos um minuto de evacuação, 49% dos ocupantes abandonaram o local enquanto que, para ocorrer a evacuação total da edificação são necessários 2 minutos e 3 segundos (Tabela 14).

Tabela 14: Tempo de evacuação da Simulação 2 – Estudo B.

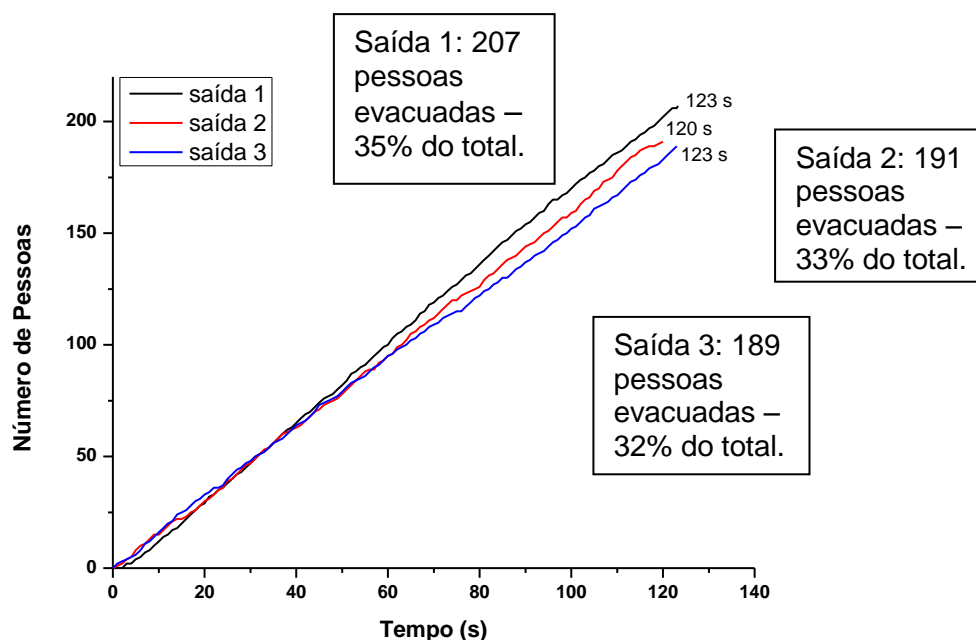
Tempo (s)	60	90	120	123
Pessoas evacuadas	290	435	576	587
Percentual (%)	49	74	98	100

Fonte: Autoria própria.

Foi ainda avaliada a inserção do mobiliário no prédio que provocou um aumento no tempo de escape de 9s. E também foi analisada com a geometria real da edificação na qual o tempo foi de 127s, provocando um acréscimo de 4s. Os valores obtidos reforçam a não necessidade de um maior detalhamento de simulações com mobiliário ou na geometria real, seja no modo Steering ou SFPE, para a edificação em questão.

As saídas de emergência indicam percentuais de utilização e tempos bem parecidos como é possível observar na Figura 27, em decorrência das larguras das descargas apresentarem valores próximos. Por possuir a maior largura, 10 cm a mais que as demais, a saída 1 é a mais utilizada, diferindo da simulação 1, na qual a saída 3 foi priorizada por estar mais próxima dos ocupantes. Nesta simulação os ocupantes que estavam inicialmente acumulados em torno da saída 3, com o transcorrer do tempo, redirecionam-se para as saídas 1 e 2 (Figura 28), fazendo com que não haja um aumento no tempo de evacuação, como houve na simulação 1.

Figura 27: Gráfico do número de pessoas evacuadas por saídas x Tempo, para Simulação 2 – Estudo B.

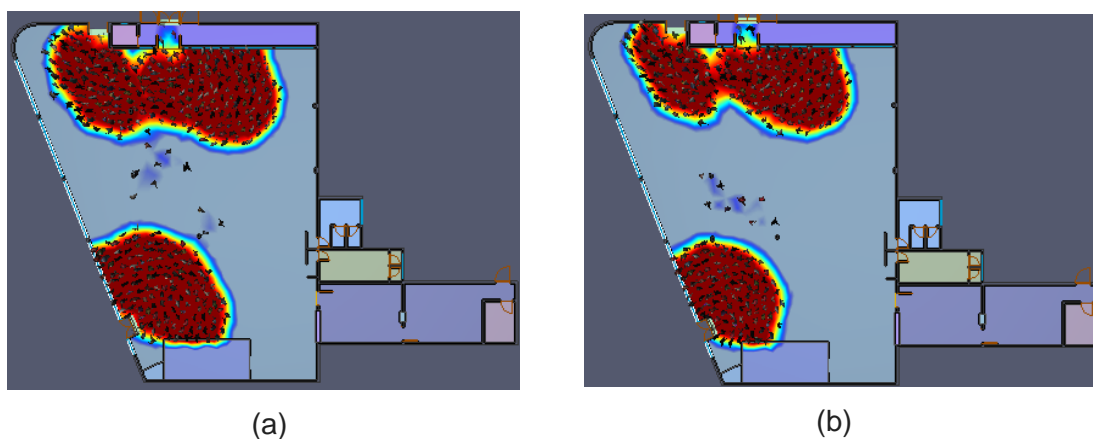


Fonte: Autoria própria.

As normas determinam que haja uma distância mínima entre as saídas, que na Paraíba é de 10 m, o que não ocorre no local, visto que a distância entre as saídas 1 e 2 é de 3 m. Caso a distância mínima indicada nas normas fosse respeitada na edificação, o tempo de evacuação seria ainda menor pois, os arcos ficariam separados melhorando o fluxo de pessoas. Como pode-se observar na Figura 28 (a) e (b), os arcos da saída 1 e 2 para os tempos de 41s e 58s, respectivamente, se tornaram um, algo que só foi possível identificar no modo Steering, pois no modo SFPE tal situação é ocultada pela formação das

filas . Contudo vale destacar, que a edificação por estar situada em uma esquina, permite maiores opções de posicionamento das saídas. Caso a edificação estivesse situada adjacente a outras , a determinação citada poderia vir a inviabilizar o empreendimento, sem sequer permitir a discussão de soluções de segurança.

Figura 28: Ocupantes se deslocando para saídas 1 e 2, nos tempos de 41s (a) e 58s (b).



Densidade
pessoas/m² 0.6 0.8 1.0 1.3 1.5 1.8 2.0 2.3 2.5 2.7 3
Fonte: Autoria própria.

A taxa de fluxo médio foi de 1,71 pessoas por segundo para a saída 1 (Tabela 15), havendo picos de 1,9 pessoas/s para a saída 2, valores bem superiores aos obtidos na simulação 1. Quanto ao fluxo específico, os dados obtidos foram superiores aos da simulação 1.

Diferente do estudo A, onde houve discrepância nos valores do fluxo específico entre as saídas, neste estudo, os valores obtidos entre as saídas ficou próximo.

Tabela 15:Taxa de Fluxo e Fluxo Específico da simulação 2 – Estudo B.

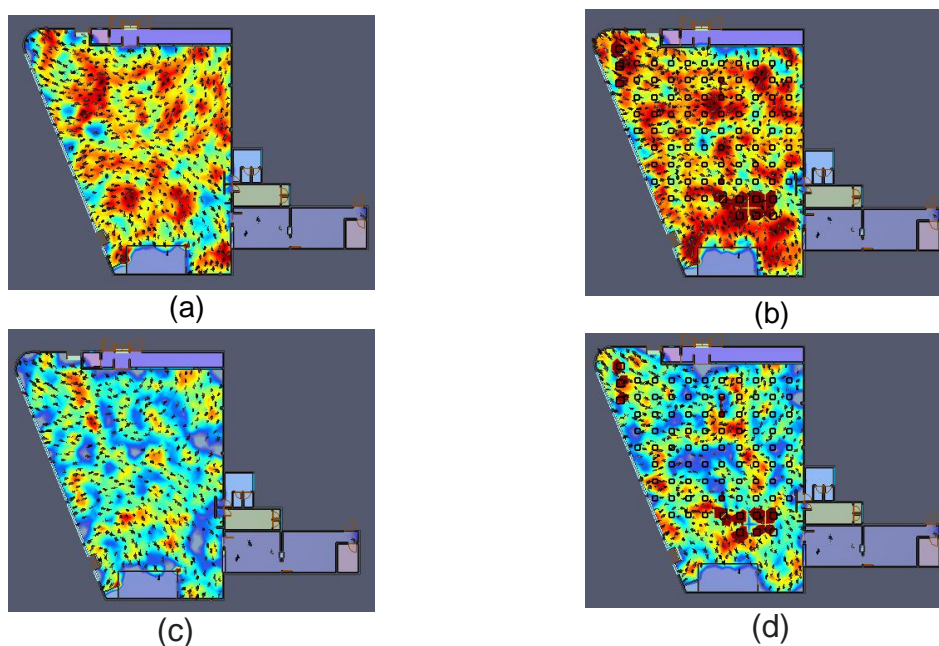
Saída	Taxa de Fluxo (pessoas/s)		Fluxo Específico (pessoas/s.m)	
	Médio	Máximo	Médio	Máx
1	1,71	1,88	1,32	1,45
2	1,61	1,9	1,34	1,58
3	1,55	1,71	1,29	1,42

Fonte: Autoria própria.

4.2.3 Simulação 3: Geometria de PSCI, com população de NT 12 e no modo SFPE

Como já descrito no presente estudo, a inserção do mobiliário não exerce grande influência no tempo total de evacuação. Contudo, é inquestionável, que no momento que são inseridas mesas no ambiente, a área que os ocupantes irão preencher será reduzida. Partindo-se desse pressuposto, a NT CBMPB 12, a Instrução Técnica do CBPMSP e outras normas, inseriram o coeficiente de $0,67\text{m}^2$ por pessoa. Na Figura 29 é possível observar o leiaute da edificação para uma população de 587 pessoas calculada como prevê a NBR 9077 sem mobiliário (a) e com mobiliário (b). Já se fosse dimensionada conforme NT CBMPB 12 teria uma população de 440 ocupantes sem mobiliário (c) e com mobiliário (d). Pode-se observar através da Figura 29 (b) que existem muitos pontos de densidade superior a 2pessoas/m^2 , chegando a atingir em muitos locais o valor de 3pessoas/m^2 .

Figura 29: Simulação com população baseada na NBR 9077 (a) sem mobiliário e (b) com mobiliário e simulação com população baseada na NT CBMPB 12 (c) sem mobiliário e (d) com mobiliário.



Densidade
pessoas/m² 0.6 0.8 1.0 1.3 1.5 1.8 2.0 2.3 2.5 2.7 3
Fonte: Autoria própria.

Da Tabela 16 é possível observar que o tempo necessário para que todos os ocupantes abandonassem o local na simulação 3 foi inferior ao da

simulação 1o que já era de se esperar tendo em vista que a população na simulação 3 era menor. Contudo destaca-se o fato do tempo ter reduzido percentualmente (cerca de 24%) praticamente na mesma proporção em que houve redução na quantidade de ocupantes (25%).

Tabela 16:Tempo de evacuação da Simulação 3 – Estudo B.

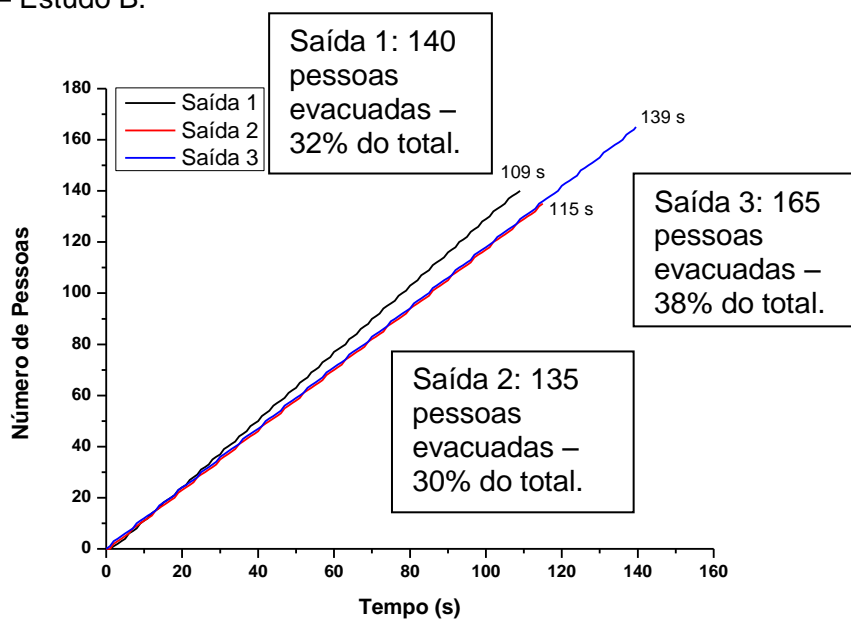
Tempo (s)	60	90	120	139
Pessoas evacuadas	218	327	417	440
Percentual (%)	50	74	95	100

Fonte: Autoria própria.

A dinâmica de evacuação (Figura 30) foi muito similar a da simulação 1 registrando percentuais de uso das descargas, valores de taxa de fluxo e fluxo específico muito semelhantes, apenas com diferenças centesimais entre as simulações. A Tabela 17 mostra os resultados obtidos para as variáveis taxa de fluxo e fluxo específico na simulação 3.

No tempo de 21s observou-se o maior congestionamento, cerca de 78,6% da população total (346 pessoas) esperando nas filas formadas nas saídas, percentual muito próximo aos 80% de pessoas acumuladas na simulação 1, com apenas 74 ocupantes tendo conseguido abandonar o local e 20 se dirigindo até as saídas (Figura 31).

Figura 30:Gráfico do número de pessoas evacuadas por saídas x Tempo, para Simulação 3 – Estudo B.



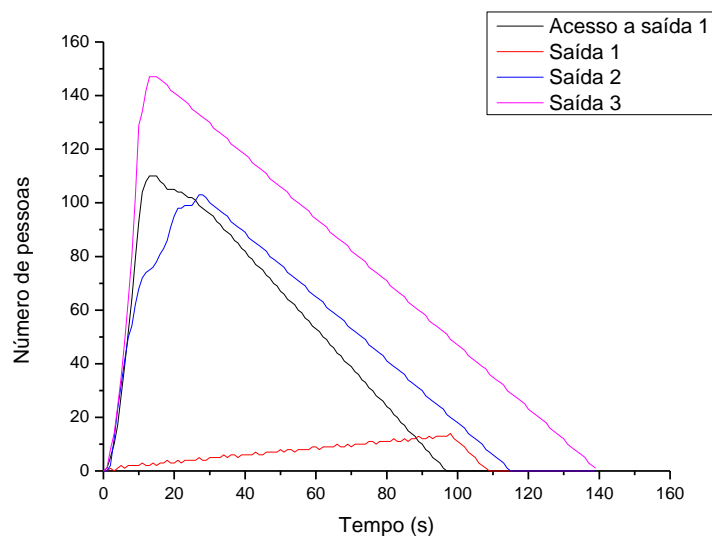
Fonte: Autoria própria

Tabela 17: Taxa de Fluxo e Fluxo Específico da simulação 3 – Estudo B.

Saída	Taxa de Fluxo (pessoas/s)		Fluxo Específico (pessoas/s.m)	
	Médio	Máximo	Médio	Máx
1	1,32	1,34	1,02	1,34
2	1,19	1,21	0,99	1,34
3	1,19	1,21	0,99	1,34

Fonte: Autoria própria.

Figura 31: Gráfico do número de ocupantes esperando na fila para Simulação 3 – Estudo B.



Fonte: Autoria própria.

4.2.4 Simulação 4: Geometria de PSCI, com população de NT 12 e no modo Steering.

O tempo total de escape foi 103s (Tabela 18), melhor resultado entre todas as simulações, mas ainda superior a 1 minuto, parâmetro de tempo utilizado pela NBR 9077 e NT CBMPB 12. Em comparação com a simulação 2, houve uma redução no tempo de 20s, 16%. Porém, deve-se destacar que tal redução no tempo é principalmente decorrente da redução na quantidade de pessoas, que passou de 587 para 440, redução de 25%, sendo mantidas as mesmas saídas de emergência.

O objetivo principal desta simulação, a exemplo da simulação 3, foi de verificar a viabilidade do coeficiente populacional implantado pela NT CBMPB 12. Em comparação com a simulação 3 a redução foi de 36s. Portanto, mais uma vez, o modo Steering produziu tempos de escape menores que o modo

SFPE. Os percentuais de uso das saídas foi similar a simulação 2, sendo a saída 1 a mais utilizada conforme mostrado na Figura 32.

Tabela 18: Tempo de evacuação da Simulação 4 – Estudo B.

Tempo (s)	60	90	103
Pessoas evacuadas	259	396	440
Percentual (%)	59	90	100

Fonte: Autoria própria.

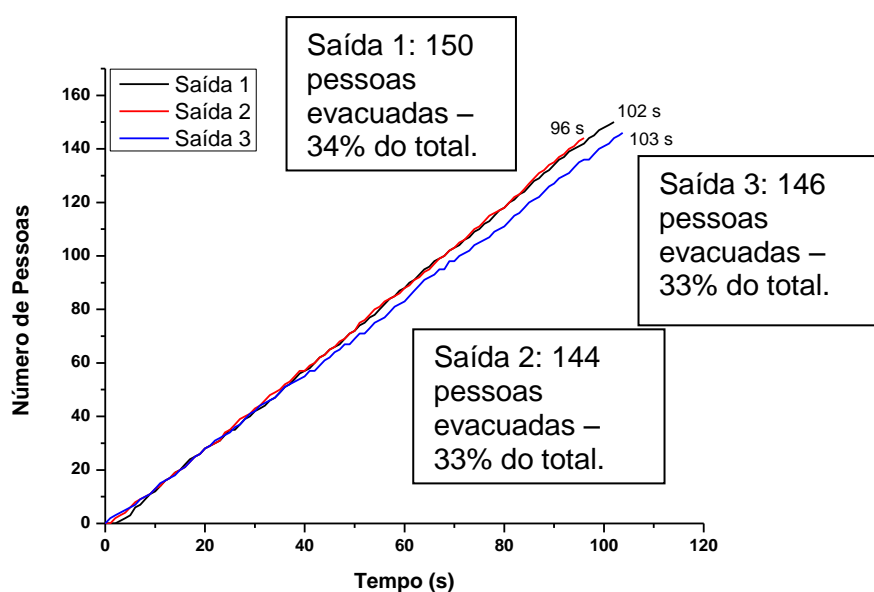
A Tabela 19 traz os valores da taxa de fluxo e do fluxo específico obtidos para a simulação 3. Com exceção da taxa de fluxo médio da descarga 3, todos os demais valores de taxa de fluxo e fluxo específico foram menores que os da simulação 2, provavelmente em decorrência da menor densidade populacional.

Tabela 19: Taxa de Fluxo e Fluxo Específico da simulação 4 – Estudo B.

Saída	Taxa de Fluxo (pessoas/s)		Fluxo Específico (pessoas/s.m)	
	Médio	Máximo	Médio	Máx
1	1,52	1,63	1,17	1,25
2	1,52	1,68	1,27	1,40
3	1,42	1,62	1,18	1,35

Fonte: Autoria própria.

Figura 32: Gráfico do número de pessoas evacuadas por saídas x Tempo, para Simulação 4 – Estudo B.



Fonte: Autoria própria.

4.2.5 Simulação 5: Geometria de PSCI, com população de NBR, no modo Steering com a saída 3 bloqueada.

Para a simulação 5 foi utilizado o modo Steering, pois o mesmo propicia menores tempos de escape. Esta simulação tem o objetivo de averiguar uma contingência proposta pelo NIST que é a de que sejam avaliadas situações em que pelo menos uma saída fique bloqueada:

“Calcular o número de saídas necessárias e as cargas de ocupantes permitidas assumindo que pelo menos uma saída (incluindo a entrada principal) ficará inacessível em uma evacuação de emergência.”

Infelizmente a obstrução das saídas de emergência é algo comum, principalmente quando elas não possuem uso contínuo, como já identificado no estudo A da edificação anterior. A presente edificação não foge a regra, como é possível verificar por meio da Figura 33 (a), (b) e (c), que apresenta fotos das 3 portas de saída de emergência da edificação em estudo. Nelas é possível verificar que foram instaladas cortinas nas portas que poderão prejudicar sua utilização numa situação crítica, além de dificultarem a identificação das mesmas como saídas de emergência.

Além da obstrução por objetos, as portas também podem vir a ser bloqueadas por pessoas que eventualmente fiquem presas, pelas retenções corpo a corpo geradas pelo intenso uso das portas, a exemplo do que ocorreu na Station Nightclub (TUBBS, 2007).

Figura 33: Imagens das portas de emergência da edificação B.



Fonte: (a) (b) (c)
 Autoria própria.

A escolha de tal cenário deu-se, principalmente, porque a Edificação B possuía três saídas de emergência, possibilitando a redistribuição dos ocupantes por outras duas saídas. Se tal panorama fosse aplicado em edificações com apenas duas saídas, já se pode afirmar que resultaria em um tempo total de evacuação demasiadamente alto, como foi verificado nas análises com a geometria real para a edificação A (simulações 5 e 6 do Estudo A), na qual quase houve um bloqueio da saída 2, no momento em que sua largura foi reduzida de 4m para 1m.

O tempo de evacuação obtido na simulação está apresentado na Tabela 20, onde é verificado um valor final de 198s, aumento de mais de 60% (75s), em comparação com a simulação 2.

Tabela 20: Tempo de evacuação da Simulação 5 – Estudo B.

Tempo (s)	60	90	120	150	180	198
Pessoas evacuadas	173	267	358	446	541	587
Percentual (%)	29	45	61	76	92	100

Fonte: Autoria própria.

A distância entre as saídas 1 e 2 é de 3,10m (Figura 34). A quantidade de ocupantes que utilizam as saídas 1 e 2 é praticamente igual, na Figura 35, mesmo a saída 1 possuindo 10cm a mais em sua largura. Isto é justificado pelos maiores fluxos específicos máximo e médio da saída 2 indicados na Tabela 21.

Figura 34: Representação da distancia entre as portas.

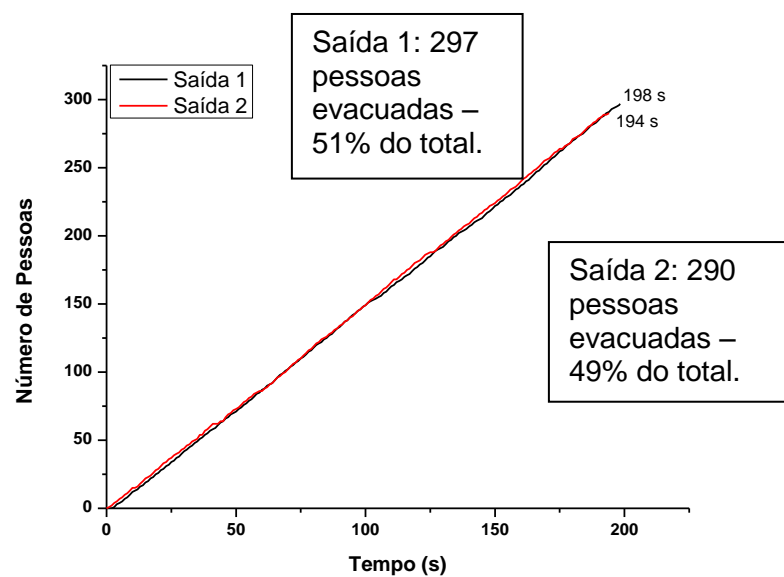


○ Saída 1

○ Saída 2

Fonte: Autoria própria.

Figura 35: Gráfico do número de pessoas evacuadas por saídas x Tempo, para Simulação 5 – Estudo B.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 21: Taxa de Fluxo e Fluxo Específico da simulação 5 – Estudo B.

Saída	Taxa de Fluxo (pessoas/s)		Fluxo Específico (pessoas/s.m)	
	Médio	Máximo	Médio	Máx
1	1,52	1,68	1,17	1,29
2	1,51	1,69	1,26	1,41

Fonte: Autoria própria.

4.2.6 Simulação 6: Geometria de PSCI, com população de NBR, no modo Steering com a saída 2 bloqueada

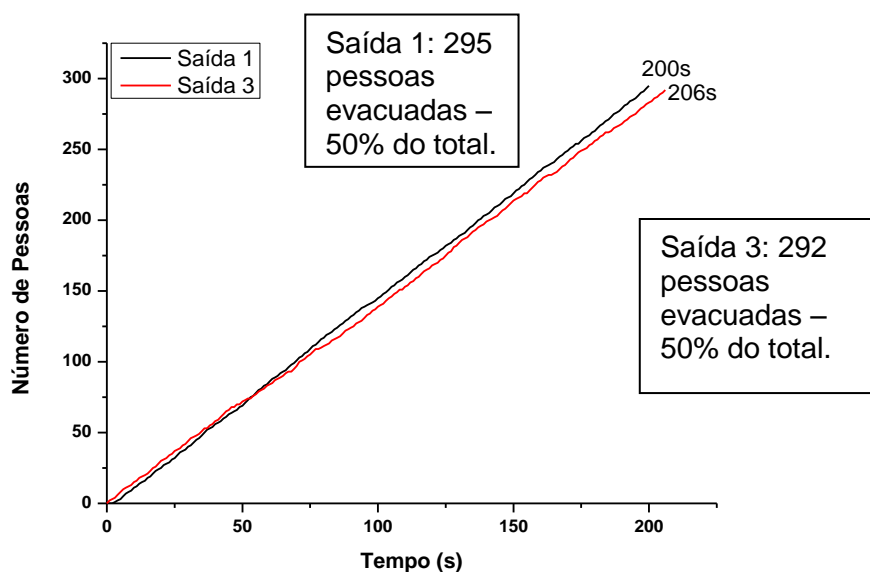
Nesta simulação foi considerado que a saída 2 estava bloqueada, restando as saídas 1 e 3, que distam entre si 18m. Os resultados obtidos foram muito semelhantes aos da simulação 5, como pode ser observado nas Tabelas 22 e 23 e na Figura 36.

Tabela 22: Tempo de evacuação da Simulação 6 – Estudo B.

Tempo (s)	60	90	120	150	180	206
Pessoas evacuadas	170	256	343	433	519	587
Percentual (%)	29	44	58	74	88	100

Fonte: Autoria própria.

Figura 36: Gráfico do número de pessoas evacuadas por saídas x Tempo, para Simulação 6 – Estudo B.



Fonte: Autoria própria.

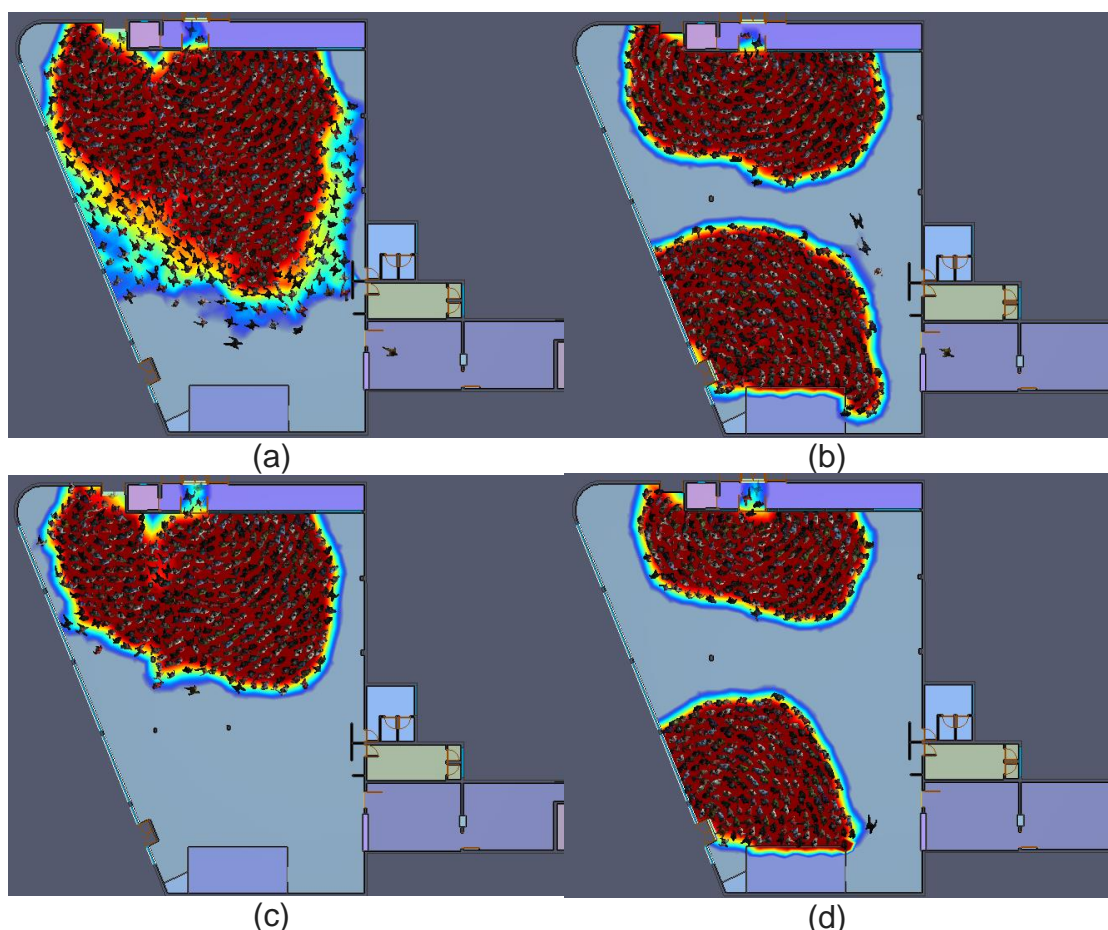
Tabela 23: Taxa de Fluxo e Fluxo Específico da simulação 6 – Estudo B.

Saída	Taxa de Fluxo (pessoas/s)		Fluxo Específico (pessoas/s.m)	
	Médio	Máximo	Médio	Máx
1	1,49	1,64	1,15	1,26
3	1,42	1,68	1,18	1,40

Fonte: Autoria própria.

Contudo, a principal diferença entre as simulações 5 e 6 está relacionada a distinta dinâmica de evacuação devido a distância entre as saídas de emergência. A Figura 7 apresenta a simulação 37 no tempo de 10s (a) e 60s (c) e simulação 6 também nos tempos de 10s (b) e 60s (d).

Figura 37: Imagens da simulação 5 e 6 do Estudo B.



Densidade
pessoas/m² 0.6 0.8 1.0 1.3 1.5 1.8 2.0 2.3 2.5 2.7 3

Fonte: Autoria própria.

Conforme ilustrado na Figura 37(a) e (c), na simulação 5 é formado um arco em torno das saídas de emergência, porém, por estas estarem muito próximas, o arco torna-se único e com grande dimensão, podendo gerar uma maior dificuldade e evacuação da população em uma situação real. Já na simulação 6, Figura 37(b) e (d), as saídas estão afastadas, fazendo com que as zonas de alta densidade populacional também fiquem afastadas, cenário de menor risco em relação ao verificado para a simulação 5.

Buscando evitar situações semelhantes a verificada na simulação, muitas legislações estaduais passaram a adotar de forma prescritiva a distância mínima entre as saídas:

O restante das saídas de emergência locadas em pontos distantes, sendo esta distância equivalente a 1/2 (metade) da medida diagonal da maior dimensão da área considerada, todavia, esta distância pode ser reduzida de 1/2 (metade) para 1/3 (um terço) quando houver proteção por Sprinklers. (Santa Catarina, 2014).

Deverá haver mais de uma saída de emergência, sendo que estas deverão situar-se em paredes diversas, com o afastamento mínimo de 10 metros. O afastamento deverá ser medido no paramento externo das paredes onde estão localizadas as saídas de emergência, desconsiderando qualquer elemento construtivo que se projete além destes paramentos. (Rio Grande do Sul, 2015).

Nas edificações do Grupo F, com capacidade acima de 300 pessoas, serão obrigatórias no mínimo duas saídas de emergência, atendendo sempre as distâncias máximas a serem percorridas. Deve haver, no mínimo, duas saídas com 10 m entre elas. (Paraíba, 2015).

As edificações classificadas nas divisões E-6, F-3, F-5, F-6, F-7, F-11 e H-3, com capacidade superior a 200 pessoas, deverão ter pelo menos duas saídas (sempre que possível em paredes distintas). A distância mínima de trajeto entre elas deve ser 10 m, exceto quando a fachada possuir comprimento inferior a este valor, devendo neste caso passar por avaliação da CTPI. (Paraná, 2016).

4.3 Estudo C

Para a edificação C, semelhante ao que foi feito para as outras edificações, foram realizadas 6 simulações, que buscaram verificar a dinâmica e o tempo de evacuação proporcionados pelos parâmetros prescritivos da NBR 9077, regramento utilizado na época da elaboração do PSCI do prédio em questão e que ainda encontra-se em vigor. Pelo PSCI o estabelecimento possuía duas saídas de emergência, mínimo exigido pela norma já citada. A

saída 1, que também é a entrada principal possui 2,40m de largura, (2/3 da largura total) e a saída 2 com 1,20m de largura corresponde a 1/3 do total destinado a saídas de emergência.

As dimensões das saídas desta edificação se destacam pois, se enquadram na recomendação do NIST, que após a tragédia ocorrida na boate *The Station*, em 2003, passou a recomendar, para locais de reunião de público com uma entrada principal claramente identificável, que esta deveria ter capacidade para evacuar 2/3 do limite máximo autorizado de ocupantes. No Brasil, alguns estados passaram a exigir medida semelhante depois do incêndio na Boate Kiss, em 2013:

Boates, Clubes noturnos em geral, Salões de Baile, Restaurantes dançantes, ou Bares dançantes deverão possuir de 50 a 70% das saídas de emergência na fachada da entrada principal da edificação (Santa Catarina, 2014).

O acesso principal deverá ter de 60% a 70% das unidades de passagens exigidas para a edificação (Rio grande do Sul, 2015).

As portas de acesso principal para edificações do grupo F deverão perfazer, no mínimo, 50% da largura total calculada (Paraná, 2016).

Tal deliberação é decorrente do estudo do comportamento humano em situações de emergência, como citado por Araújo (2013), pois geralmente as pessoas, em situação de perigo, adotam os percursos aos quais estão acostumadas ou foram treinadas, mesmo que uma determinada saída se encontre mais próxima ou adequada.

Contudo, no momento da vistoria na edificação, foi verificado que existiam diferenças entre o prédio em funcionamento e o PSCI, igualmente ao ocorrido nos estudos A e B. Foi constatado que as saídas 1 e 2 possuíam 1,60m e 1,90m de largura, respectivamente, Figura 38 (a) e (b); as luminárias de emergência estavam inoperantes por encontrarem-se desenergizadas, Figura 38 (c) e (d); os extintores de incêndio estavam posicionados em locais diferentes do previsto em projeto, Figura 38 (e) e (f) e a edificação havia sido ampliada Figura 38 (g) e (h).

A população da edificação foi dimensionada tomando por base a capacidade das saídas de emergência e assim, obtendo o valor de 600 ocupantes. Mas, o procedimento correto seria o dimensionamento das rotas de

fuga a partir do quantitativo populacional da edificação, ou seja, o inverso do que foi feito.

Figura 38: Documentário fotográfico da edificação C.



(a)



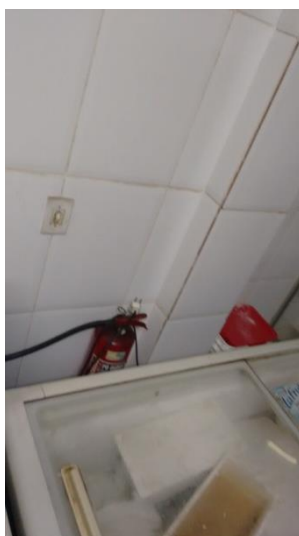
(b)



(c)



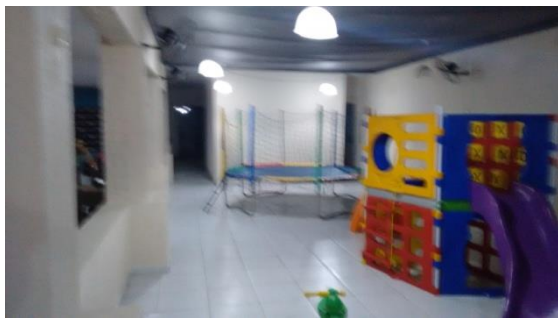
(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

Fonte: Autoria própria.

Caso o cálculo da população fosse realizado conforme o coeficiente da NBR 9077 resultaria em uma população de 1244 pessoas. Já se fosse dimensionado conforme NT CBMPB 12, a quantidade de ocupantes seria de 934. Ambos bem superiores ao valor estabelecido no PSCI.

O Quadro 13 apresenta os dados de entrada do estudo C utilizados nas simulações realizadas.

Quadro 13: Dados de entrada do Estudo C.

Geometria do PSCI	Porta de Saída 1	Largura: 2,40 m
		4 unidades de passagem
	Porta de Saída 2	Largura: 1,20m
		2 unidades de passagem
Geometria Real	Porta de Saída 1	Largura: 1,60 m
		3 unidades de passagem
	Porta de Saída 2	Largura: 1,90 m
		3 unidades de passagem
População	Prevista no PSCI	600 ocupantes
	NBR 9077	1244 ocupantes
	NT CBMPB 12	934 ocupantes

Fonte: Autoria Própria.

4.3.1 Simulação 1: Geometria e população de PSCI e no modo SFPE.

Para esta simulação foi utilizada a arquitetura indicada no PSCI que prevê a existência de 6 unidades de passagens, distribuídas em duas portas para evacuar uma população de 600 pessoas. Tais características são bem semelhantes aos da simulação 1 – Estudo B, que possuía uma população de 587 pessoas e 6 unidades de passagem, vindo a se diferenciar na quantidade de saídas, que são três no estudo B. Por este motivo, os tempos de evacuação das duas simulações foram muito próximos (Tabela 24).

Tabela 24: Tempo de evacuação da Simulação 1 – Estudo C.

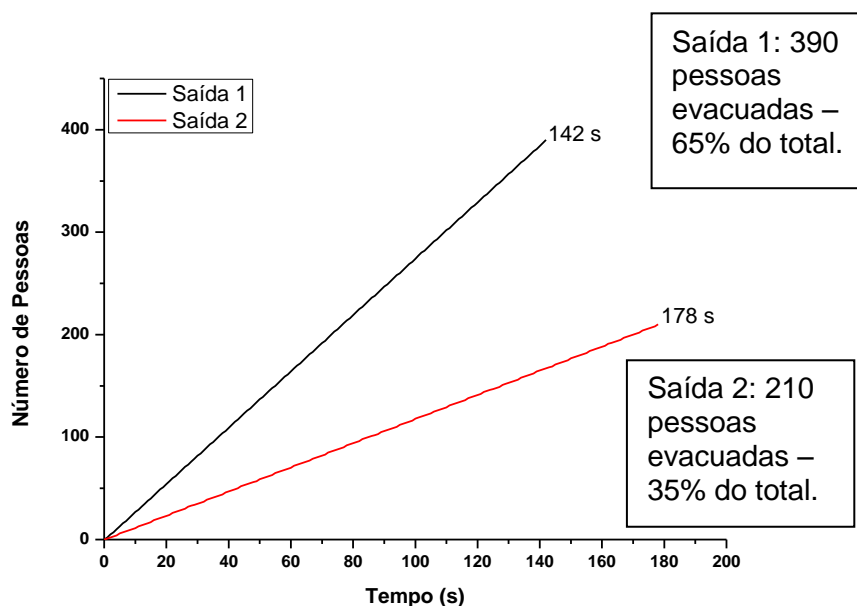
Tempo (s)	60	90	120	150	178
Pessoas evacuadas	234	353	470	567	600
Percentual (%)	39	59	78	95	100

Fonte: Aatoria própria.

Foi realizada uma simulação com mobiliário e o tempo total de evacuação foi de 178s, tempo igual ao que foi obtido quando sem mobiliário.

O uso das saídas de emergência está representado na Figura 39, onde se verifica que 65% dos ocupantes utilizou a descarga 1 e 35% a saída 2. Esta representa 33% da largura total de saídas de emergência da edificação e aquela perfaz 67%, confirmando, mais uma vez, que o percentual de utilização mantém relação com a largura das saídas. Destaca-se o fato do escape pela descarga 1 encerrar no tempo de 142s enquanto que o uso da descarga 2 só é finalizado 36s depois.

Figura 39: Gráfico do número de pessoas evacuadas por saídas x Tempo, para Simulação 1 – Estudo C.



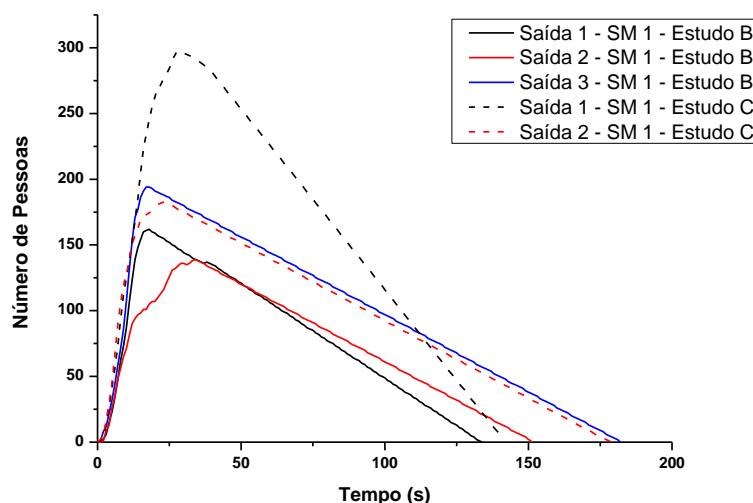
Fonte: Aatoria própria

O tempo de 27s foi onde observou-se o maior congestionamento com 475 pessoas (79% da população total) esperando nas filas formadas nas saídas, valor quase igual ao da simulação 1 do Estudo B, que foi de 80%. No entanto, quando observadas as saídas de emergência individualmente (Figura

40), verifica-se na edificação B, que possui três saídas, forma filas menores que a edificação C. Para o estudo B a maior fila foi de 194 pessoas na saída 3, já para a edificação C a maior fila chegou a contabilizar 298 pessoas na saída 1. Menores congestionamentos sempre são mais favoráveis, logo se pode afirmar que o leiaute da edificação B, com uma saída a mais, propiciou uma melhor dinâmica de evacuação que o da edificação C.

A saída 1 que possui duas vezes a largura da saída 2, apresentou taxa de fluxo duas vezes maior que a taxa de fluxo da saída 2 e os valores médios e máximos ficaram muito próximos, denotando um uso ininterrupto das mesmas (Tabela 25). Quanto aos fluxos específicos, a saída 1 também apresentou valores maiores em relação a saída 2.

Figura 40: Gráfico comparativo do número de ocupantes esperando na fila para Simulação 1 – Estudo B e C.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 25: Fluxos Específicos da simulação 1 – Estudo C.

Saída	Taxa de Fluxo (pessoas/s)		Fluxo Específico (pessoas/s.m)	
	Médio	Máximo	Médio	Máx
1	2,76	2,77	1,15	1,32
2	1,18	1,21	0,98	1,34

Fonte: Autoria própria.

4.3.2 Simulação 2: Geometria e população de PSCI e no modo Steering.

O tempo total de evacuação foi de 132s (Tabela 26), o que representa 46s a menos que no modo SFPE. Em comparação com a simulação 2 do Estudo B, os valores foram bem semelhantes. Foi ainda avaliada a inserção do mobiliário no prédio que provocou um aumento no tempo de escape de 16,5s (148,5s).

Tabela 26: Tempo de evacuação da Simulação 2 – Estudo C.

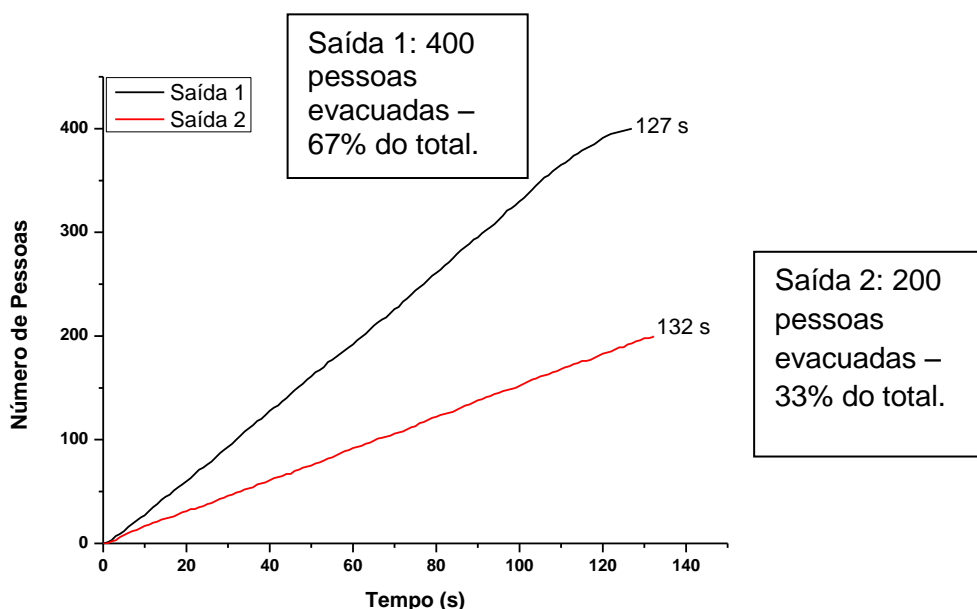
Tempo (s)	60	90	120	132
Pessoas evacuadas	284	433	574	600
Percentual (%)	47	72	96	100

Fonte: Autoria própria.

A saída 1 foi utilizada por 400 ocupantes, dois terços do total, sendo a descarga 2 empregada pelos demais (Figura 41).

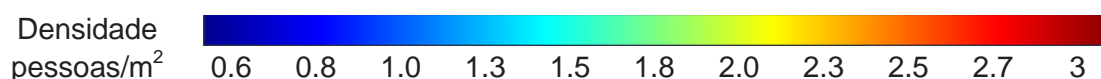
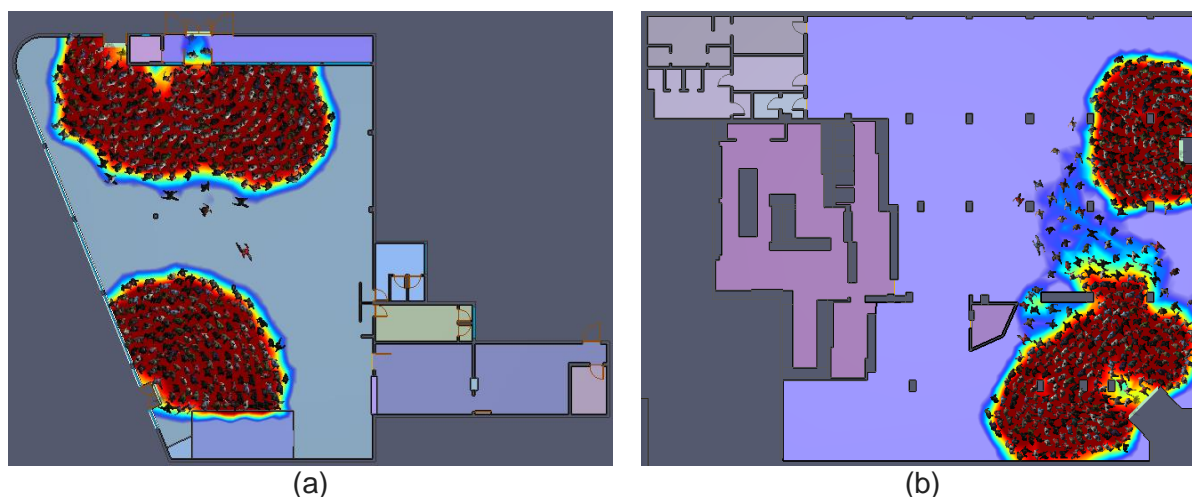
A Figura 42 apresenta a simulação 2 dos estudos B e C, no tempo de 30s, através da qual é possível observar que as pessoas se amontoam em dois grandes arcos, de forma semelhante para as duas edificações, mesmo a edificação B possuindo uma saída a mais. Portanto, o fato, aparentemente positivo, da edificação B possuir uma saída a mais, não se converteu em termos práticos, devido a proximidade entre as saídas 1 e 2.

Figura 41: Gráfico do número de pessoas evacuadas por saídas x Tempo, para Simulação 2 – Estudo C.



Fonte: Autoria própria.

Figura 42: Simulação 2 da edificação B com 445 ocupantes (a) e simulação 2 da edificação C com 462 ocupantes (b) ambas no tempo de 30s.



Fonte: Autoria própria.

Os valores da taxa de fluxo da saída 1 são obviamente maiores que os da rota de escape 2, por esta ser menor que aquela. Já o fluxo específico médio produziu números bem semelhantes para as duas, Tabela 27.

Tabela 27: Taxa de Fluxo e Fluxo Específico da simulação 2 – Estudo C.

Saída	Taxa de Fluxo (pessoas/s)		Fluxo Específico (pessoas/s.m)	
	Médio	Máximo	Médio	Máximo
1	3,20	3,68	1,33	1,53
2	1,53	1,65	1,27	1,38

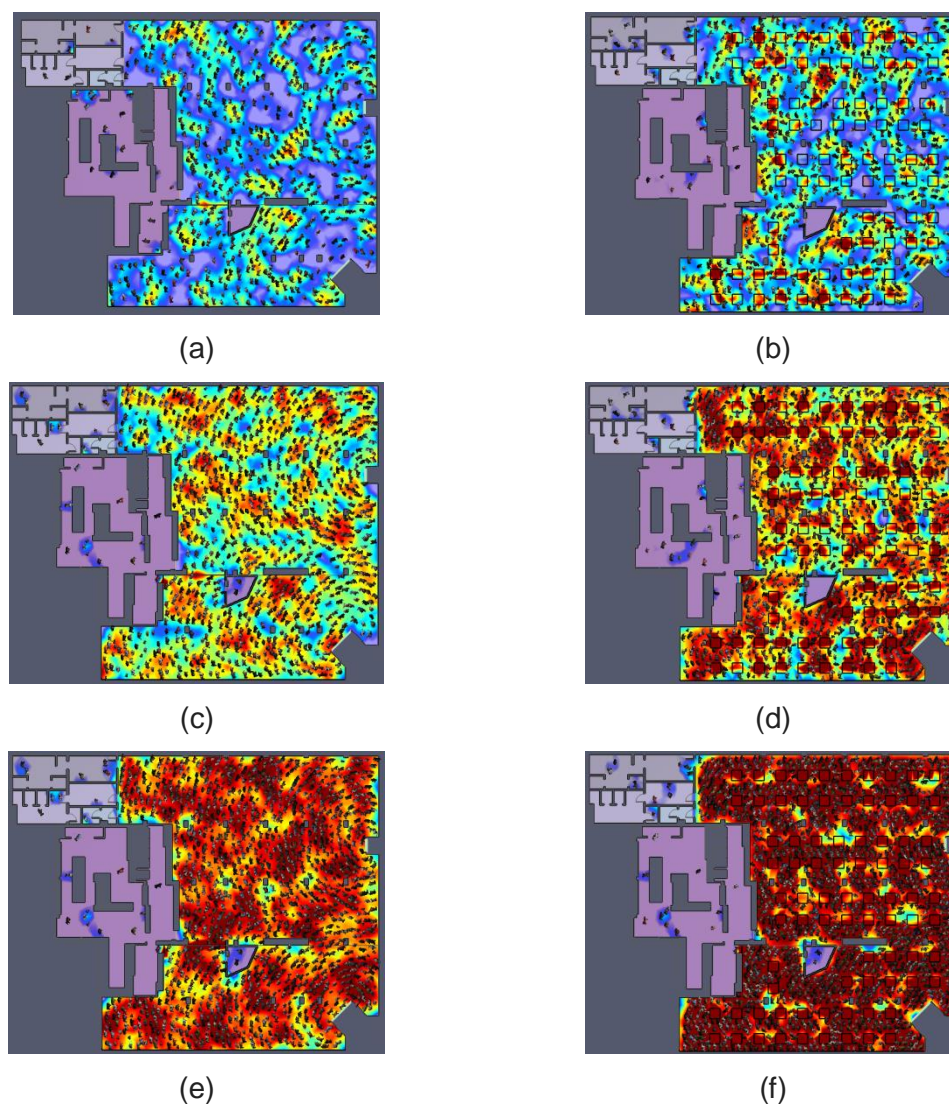
Fonte: Autoria própria.

4.3.3 Simulação 3: Geometria de PSCI, com população da NBR e no modo SFPE.

A Figura 43 apresenta a edificação C, sem e com mobiliário, para população de 600 pessoas (a) e (b); 934 pessoas (c) e (d); e 1244 pessoas (e) e (f). A distribuição dos ocupantes foi realizada randomicamente pelo programa e nela é possível se ter uma noção do aumento da densidade quando ocorre a inserção do mobiliário. Na situação com a população dimensionada conforme NBR 9077 e com mobiliário, Figura 43 (f), todos os setores da área destinada

aos clientes passam a ter densidade próxima a 3pessoas/m^2 , que já se avizinha ao valor de densidade máxima prevista pela equação de Nelson e Mowrer (2002) que é de $3,8\text{pessoas/m}^2$, para o qual a variável velocidade tende a zero (Equação 4) e se considera que o movimento irá parar.

Figura 43: Edificação C com e sem mobiliário, para diferentes quantidade de ocupantes.



Fonte: Autoria própria.

Para a representação da edificação com mobiliário foram inseridas 80 mesas quadradas com 0,90m de lado, conforme dados obtidos durante vistoria

à edificação. Procurou-se representar a distribuição de mesas, Figura 44, utilizada pelo estabelecimento quando em funcionamento.

Figura 44: Imagem da distribuição das mesas na edificação C.



Fonte: Autoria própria.

Para esta simulação obteve-se um tempo final de escape foi de 6 minutos e 13 segundos conforme indicado na Tabela 28. Se comparado com a simulação 1, na mesma edificação e que possuía metade da população, esse tempo é mais que o dobrou.

Tabela 28: Tempo de evacuação da Simulação 3 – Estudo C.

Tempo (s)	60	90	120	180	240	300	360	373
Pessoas evacuadas	224	342	460	696	931	1157	1228	1244
Percentual (%)	18	28	37	56	75	93	99	100

Fonte: Autoria própria.

Ainda em comparação com a simulação 1, os percentuais de utilização das saídas (Figura 45), as taxas de fluxo e fluxo específico (Tabela 29) foram praticamente os mesmos. Destaca-se a diferença de 76s, entre o término da evacuação nas saídas 1 e 2.

Tabela 29: Taxa de Fluxo e Fluxo Específico da simulação 3 – Estudo C.

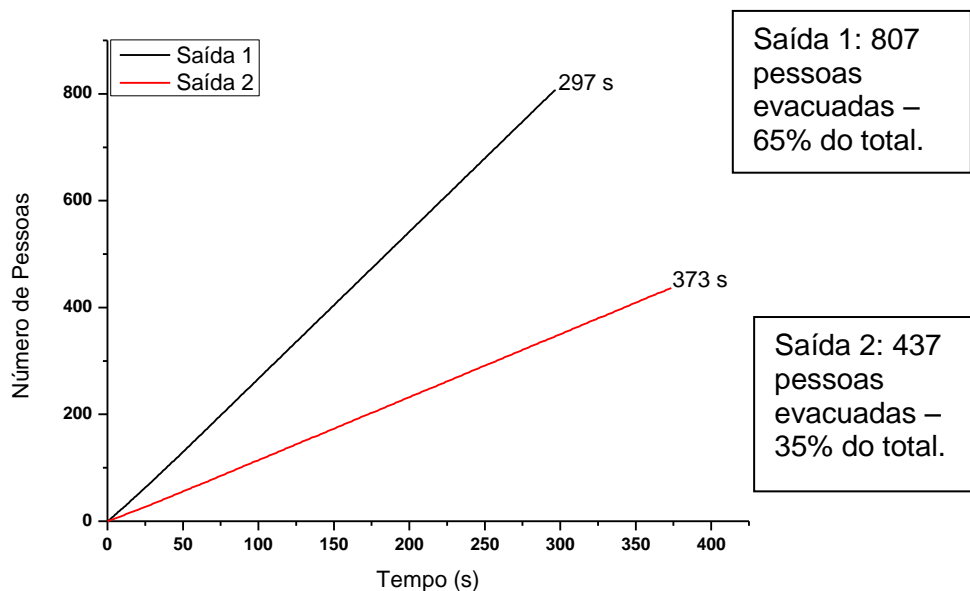
Saída	Taxa de Fluxo (pessoas/s)		Fluxo Específico (pessoas/s.m)	
	Médio	Máximo	Médio	Máx
1	2,73	2,77	1,14	1,31
2	1,17	1,21	0,98	1,34

Fonte: Autoria própria.

Em relação as filas formadas para evacuação, tem-se os maiores valores no tempo de 52s, para saída 1 onde formou-se uma fila 643 ocupantes e para a saída 2 de 391 usuários, no tempo de 41s (Figura 46). Para a edificação como um todo, chegam a existir 1022 pessoas, 82% da população total, aguardando nas rotas de fuga no tempo de 52s, enquanto apenas 193 conseguiram deixar o local e outras 29 ainda se deslocam até as saídas. Esses

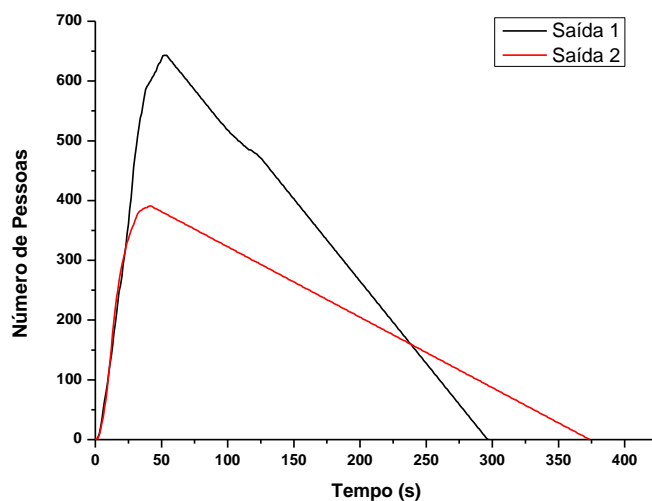
números reforçam a hipótese de que, em um processo de evacuação, um grande e precioso tempo é desperdiçado pelos ocupantes esperando em filas.

Figura 45: Gráfico do número de pessoas evacuadas por saídas x Tempo, para Simulação 3 – Estudo C.



Fonte: Autoria própria

Figura 46: Gráfico do número de ocupantes esperando na fila para Simulação 3 – Estudo C.



Fonte: Autoria Própria

4.3.4 Simulação 4: Geometria de PSCI, com população da NBR e no modo Steering.

Esta simulação apresentou desempenhos bem semelhantes aos da simulação 2, como pode ser observado na Tabelas 30 e 31 e Figura 47, destoando no tempo de escape que praticamente dobrou, haja vista a população também ter duplicado.

Tabela 30: Tempo de evacuação da Simulação 4 – Estudo C.

Tempo (s)	60	90	120	180	240	262
Pessoas evacuadas	292	435	583	873	1165	1244
Percentual (%)	23	35	47	70	94	100

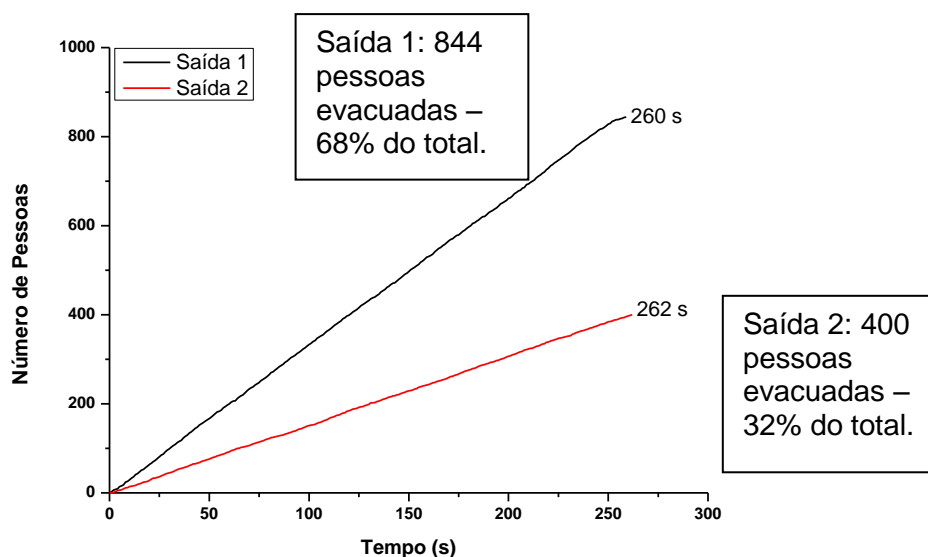
Fonte: Autoria própria.

Tabela 31: Taxa de Fluxo e Fluxo Específico da simulação 4 – Estudo C.

Saída	Taxa de Fluxo (pessoas/s)		Fluxo Específico (pessoas/s.m)	
	Médio	Máximo	Médio	Máximo
1	3,27	3,69	1,36	1,54
2	1,54	1,77	1,28	1,47

Fonte: Autoria própria.

Figura 47: Gráfico do número de pessoas evacuadas por saídas x Tempo, para Simulação 4 – Estudo C.



Fonte: Autoria própria.

4.3.5 Simulação 5: Geometria Real, com população de NBR e no modo Steering.

A principal diferença entre a geometria do PSCI e a real, é que nessa a saída 1 tem largura de 1,60m e a 2 possui 1,90m o que, em termos de largura, representa uma redução de 10cm, mas que, em relação a quantidade total de unidades de passagem, continuam sendo 6, no entanto, cada descarga passará a contabilizar 3 unidades de passagem.

O tempo total de escape foi de 284s, Tabela 32, um aumento de 22s (8%) em relação a simulação 4, devido ao decréscimo na largura total. Significativa diferença é observada na dinâmica da evacuação, pois a saídas de emergência 2 passou a ser a mais utilizada, com 55% dos ocupantes enquanto a rota de escape 1, que também é a entrada principal, teve percentual de uso de 45% (Figura 48) uma diferença de 124 ocupantes, mesmo possuindo quantidades iguais de unidades de passagem, indicando que a diferença de 30cm na largura das portas exerceu influência relevante.

Tabela 32: Tempo de evacuação da Simulação 5 – Estudo C.

Tempo (s)	60	90	120	150	180	240	284
Pessoas evacuadas	281	420	557	698	839	1102	1244
Percentual (%)	23	34	45	56	67	89	100

Fonte: Autoria própria.

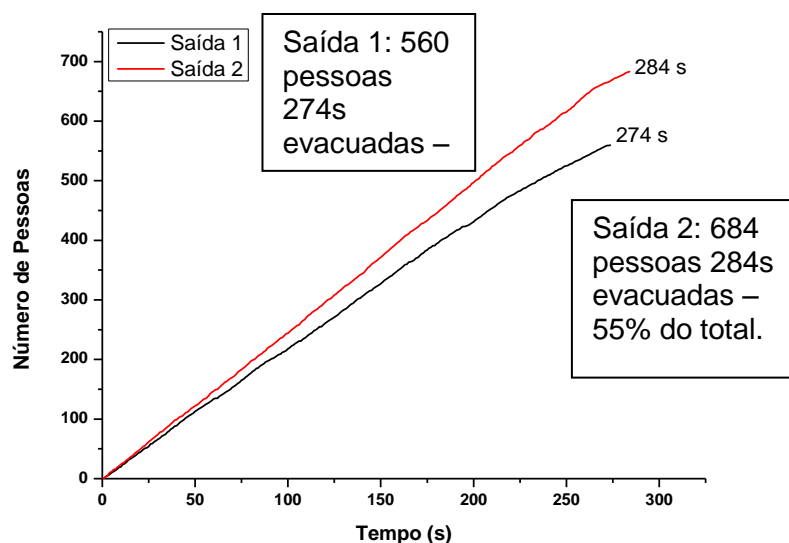
A taxa de fluxo da saída 2 é maior que o da rota de fuga 1, Tabela 33, indicando, mais uma vez, que a diferença de tamanho entre as saídas exerceu influência mesmo ambas possuindo 3 unidades de passagem.

Tabela 33: Taxa de Fluxo e Fluxo Específico da simulação 5 – Estudo C.

Saída	Taxa de Fluxo (pessoas/s)		Fluxo Específico (pessoas/s.m)	
	Médio	Máximo	Médio	Máx
1	2,06	2,46	1,29	1,54
2	2,42	2,77	1,27	1,46

Fonte: Autoria própria.

Figura 48: Gráfico do número de pessoas evacuadas por saídas x Tempo, para Simulação 5 – Estudo C.



Fonte: Autoria própria.

Tal constatação é importante, pois a NBR 9077 e NT CBMPB 12 admitem reduções na largura das portas de emergência, aceitando valores menores que os atribuídos às unidades de passagem, com exceção da largura mínima de 0,80 m, conforme Quadro 14. Para comparar essa indicação da norma com o estudo aqui realizado, foi feita uma simulação da edificação considerando que a mesma possuía duas portas de 1,5 m de largura, valor mínimo previsto para três unidades de passagem, e o resultado obtido para o tempo total de escape foi de 312 s, aumento de 28s em relação ao valor obtida com a largura real. Já se as 6 unidades de passagem calculadas para a edificação fossem divididas em três portas de 1,0 m, o tempo passaria a ser de 338 s, aumento de 54s. Indicando que a redução da largura das portas traz aumento no tempo de desocupação do estabelecimento.

Quadro 14: Largura (dimensão mínima de vão de luz) de portas de rota de fuga.

Documento normativo	
Largura (vão de luz)	Nbr 9077 e NT CBMPB 12
0,80 m	Valendo por uma unidade de passagem.
1,00 m	Valendo por duas unidades de passagem.
1,50 m	Valendo por três unidades de passagem.
2,00 m	Valendo por quatro unidades de passagem.

Fonte: Adaptado Ono, 2010.

As portas com 1, 2, 3 ou 4 unidades de passagem são as mais encontradas em clubes sociais por questões estruturais, econômicas, dentre outros fatores. Além disso, segundo Ono (2010), para as portas com 0,8 m e 1,0 m de largura, o grau de acúmulo de pessoas leva a um congestionamento mais acentuado em frente à porta devido à maior influência das características antropométricas dos indivíduos quando há uma restrição dimensional.

Na verdade, para quantidades reduzidas de unidades de passagem, as larguras deveriam ser ampliadas, a exemplo do que ocorre na regulamentação de Portugal apresentado no Quadro 15 e no Estado do Rio Grande do Norte:

“Ambientes com mais de 100 lugares, além das aberturas normais de entrada, deverão dispor de saídas de emergência com largura mínima de dois metros e vinte centímetros (2,20m), acrescentando-se uma unidade de passagem (cinquenta e cinco centímetros) para excedentes de 100 pessoas” (Rio Grande do Norte, 2012).

Quadro 15: Cálculo da largura útil em Portugal.

0,90 m	1 UP
1,40 m	2 UP
$n * 0,6 \text{ m}$	$n \text{ UP } (n > 2)$

Fonte: Rosa, 2010.

4.3.6 Simulação 6: Geometria Real, com população de NBR, no modo Steering com 2/3 dos ocupantes saindo pela entrada principal.

Através das simulações 1, 2, 3 e 4, que utilizaram a geometria prevista no PSCI, observou-se que 2/3 dos ocupantes abandonaram o local pela saída 1, atendendo a recomendação do NIST e de normas estaduais brasileiras mais recentes, como já exposto anteriormente. Porém, a arquitetura encontrada in loco, divergiu da prevista em PSCI fazendo com que houvesse uma mudança na dinâmica de evacuação, passando, a rota de fuga 2, a ser a mais utilizada, como constatado na simulação 5. Desta forma, a simulação 6 buscou simular o cenário em que 2/3 dos ocupantes deixam a edificação pela saída 1, inseridas as alterações da geometria real.

O fato das luminárias de emergência se encontrarem inoperantes como mostrado nas Figuras 38 (c) e (d), dificulta a visualização de saídas de

emergência secundárias e enaltece a perspectiva de que a maioria dos ocupantes, numa necessidade de evacuação do local, se dirigirá ao caminho que usou para entrar na edificação, ou seja, a saída 1.

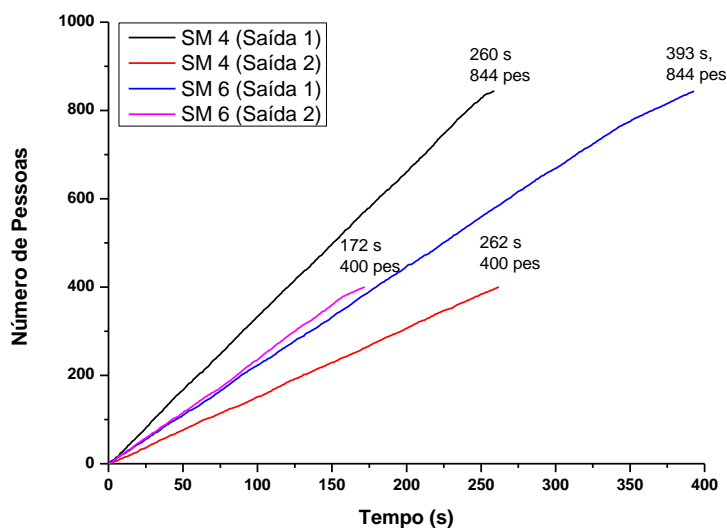
O tempo de evacuação foi de 393 s, Tabela 34, mais de seis minutos e meio, o que representa 131 s a mais que a simulação 4. A Figura 49 apresenta um gráfico comparativo entre as simulações 4 e 6 onde é possível observar que a saída 1 é utilizada pela mesma quantidade de pessoas, dois terços do total. A diferença de tempo entre as saídas que na simulação 4 é de apenas 2 s, na simulação 6 é de 221 s devido a redução na largura da saída principal.

Tabela 34: Tempo de evacuação da Simulação 6 – Estudo C.

Tempo (s)	60	90	120	150	180	240	300	360	393
Pessoas evacuadas	278	420	558	698	810	948	1079	1197	1244
Percentual (%)	22	34	45	56	64	75	86	96	100

Fonte: Autoria própria.

Figura 49: Gráfico comparativo das simulações 4 e 6, Número de Pessoas evacuadas x Tempo – Estudo C.



Fonte: Autoria própria.

Em comparação com a simulação 4, a taxa de fluxo apresentou valores diferentes, obviamente pela diferença nas dimensões das rotas de fuga,

enquanto para o fluxo específico os números foram bem semelhantes (Tabela 35).

Tabela 35: Taxa de Fluxo e Fluxo Específico da simulação 6 – Estudo C.

Saída	Taxa de Fluxo (pessoas/s)		Fluxo Específico (pessoas/s.m)	
	Médio	Máximo	Médio	Máx
1	2,14	2,51	1,34	1,57
2	2,44	2,75	1,28	1,45

Fonte: Autoria própria.

5 CONCLUSÃO

Através do presente trabalho de pesquisa foi possível avaliar o desempenho de edificações de reunião de público e tanto as vistorias *in loco* quanto as simulações computacionais permitiram alcançar conclusões importantes.

Das vistorias *in loco* nos locais selecionados concluiu-se que:

- Nenhuma das edificações estava conforme o PSCI. Apresentavam divergências nos valores de largura das saídas de emergência, equipamentos de segurança ausentes ou inoperantes.

Das simulações realizadas nas edificações concluiu-se que:

- O mobiliário não exerceu influência significativa no tempo de evacuação, pois a maior parcela do tempo foi consumida nos congestionamentos formados nas saídas. Contudo, a existência de mesas e demais objetos diminuiu a área ocupável e, conseqüentemente, o espaço disponível aos ocupantes, podendo vir a gerar zonas de maior densidade nos espaços livres. Sendo assim, é positiva a alteração do coeficiente de densidade populacional existente na NT CBMPB 12 (1 pessoa: 0,67m²) em relação a NBR 9077 (1 pessoa: 0,5m²).
- Apenas uma simulação obteve tempo abaixo da marca de 2 minutos mostrando que o dimensionamento preconizado pela NBR 9077 e NT CBMPB 12 leva a uma falsa hipótese de que a evacuação poderá ocorrer em 1 minuto.
- Foi observado que portas com mesma quantidade de unidades de passagem, mas com larguras diferentes, apresentaram taxas de fluxo distintas, indicando que acréscimos ou decréscimos nas dimensões das portas exercem influência na quantidade de pessoas que transitarão por elas.
- O maior valor de fluxo específico obtido foi de 1,58 pessoas/s.m, bem inferior ao que pode ser extraído das normas de saídas de emergência nacionais e estaduais.

Comparando-se os modelos SFPE e Steering, observou-se que o primeiro fica mais limitado à cinemática da evacuação, através do fornecimento de dados quantitativos. Já o segundo utiliza uma metodologia mais próxima da realidade e permite uma melhor avaliação qualitativa da dinâmica de desocupação da edificação.

As vistorias *in loco* foram importantes para observar que medidas simples como manter o extintor de incêndio no local adequado ou a luminária de emergência ligada, continuamente, a uma fonte de energia são negligenciadas pelos proprietários das edificações. Ou ainda que medidas mais complexas como a mudança da arquitetura do prédio são tomadas sem a devida aquiescência dos órgãos competentes de fiscalização, enaltecendo o desdém com que é tratada a segurança contra incêndio.

A utilização do software de abandono permitiu aferir o tempo de evacuação, a taxa de fluxo e fluxo específico e constatar que premissas estabelecidas pelos textos normativos ficaram longe de serem alcançadas. Através da observação do movimento dos ocupantes se verificou a formação de locais de congestionamento e gargalos à evacuação que se vistos na fase de projeto da edificação poderiam ser facilmente eliminados. A modelagem computacional é uma ferramenta extremamente útil e pode contribuir para que as edificações sejam pensadas otimizando a relação benefício-custo e com um nível igual ou maior de segurança se comparado aos projetos puramente prescritivos.

Portanto, as regulamentações devem ser constantemente atualizadas e a implantação de normas baseadas em desempenho se mostra necessária para acompanhar o desenvolvimento tecnológico e se alcançar um nível de segurança aceitável e palpável.

Recomendações para trabalhos futuros

São várias as vertentes que o estudo sobre as saídas de emergência podem tomar devido a enorme quantidade de variáveis a que está sujeito o movimento humano. Recomenda-se para trabalhos futuros:

- A realização de experimentos práticos, tão escassos no contexto brasileiro;
- A utilização de outros modelos computacionais, que possam agregar parâmetros de comportamento e da dinâmica de incêndio;
- O estudo do movimento vertical, através de escadas, rampas e elevadores.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. E. S. C. Modelação e simulação do comportamento humano na evacuação de edifícios. NFPA-APSEI Fire & Security, Estoril, Dezembro, 2013.

Amor H. B.; Murray J.; Obst O.. Fast, Neat and Under Control: Inverse Steering Behaviors for Physical Autonomous Agents. AI Game Programming Wisdom .3, ed. S. Rabin, p. 221-232, 2006.

ARAÚJO, S. B. **Proteção Da Vida Humana Em Incêndio – Conceitos técnicos**, Rio de Janeiro, SYGMA SMS, 1 ed, 2013, p.46.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **IA 07.20.02:** Elaboração de Norma Brasileira. Rio de Janeiro, 2001

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9077:** Saídas de emergência em edifício. Rio de Janeiro, 2014.

BASTOS S. F. et al. SizeBR – O estudo antropométrico brasileiro. Disponível em:<http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2014/07/10/6822/SizeBR_Por.pdf?r=0.562248437169>. Acesso em: 13 de agosto de 2016.

CAMPOS A.T.; CONCEIÇÃO A.L.S. Manual de segurança contra incêndio e pânico- Proteção passiva. Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal. Brasília, 2006.

CLARET A. M.; MATTEDI, D. L.. Estudo da prescritividade das normas técnicas Brasileiras de segurança contra incêndio. REM. Revista Escola de Minas (Impresso), v. 64, p. 265-271, 2011.

COMANDO DO CORPO DE BOMBEIROS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **RT CBMRS 11- PARTE 1:** Saídas de emergência. Rio Grande do Sul, 2015.

COMANDO DO CORPO DE BOMBEIROS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **RT CBMRS 17:** Normas de Prevenção e Proteção Contra Incêndios para a segurança contra incêndio e pânico em centros esportivos, de eventos e de exibição. Rio Grande do Sul, 2015.

CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DO RIO GRANDE DO SUL. Comissão especial do CREA- RS. Análise do sinistro na boate kiss, em Santa Maria, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 04 de Fevereiro de 2013.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DO PARANÁ. **NPT 011**: Saídas de emergência. Paraná, 2016.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DA PARAÍBA. , **NT 010/2014**: Centros Esportivos e de exibição: Requisitos de Segurança contra Incêndio. Paraíba, 2014.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DA PARAÍBA. **NT 012/2015**: Saídas de emergência. Paraíba, 2015.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DA PARAÍBA. **NT011/2014**: Procedimentos administrativos. Paraíba, 2014.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MATO GROSSO. **IT33/2013**: Eventos temporários. Minas Gerais, 2016.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MATO GROSSO. **NTCB06/2016**: Eventos temporários. Mato Grosso, 2016.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA. **IN 009/DAT/CBMSC**: Sistemas de saídas de emergências. Santa Catarina, 2014.

CRAVEIRO R. Terror em Paris – A noite mais escura. **Defesa Aérea e Naval**. Disponível em: < <http://www.defesaaereanaval.com.br/terror-em-paris-a-noite-mais-escura/>>. Acesso em: 19 agosto 2016.

FAILLACE, R. R. **Escadas e saídas de emergência**. Porto Alegre: Sagra, 1991.

FERREIRA, M. Tabela de Históricos de sinistros de incêndio no Brasil e no Mundo. Disponível em: <<http://zh.clicrbs.com.br/rs/noticias/noticia/2013/01/historico-infeliz-relembre-outros-incendios-tragicos-em-boates-4024452.html>>. Acesso em: 05 mar. 2015.

GILL A. A.; NEGRISOLO W.; OLIVEIRA S.A. Aprendendo com os grandes incêndios. In: SEITO, Alexandre I. (coord.) et al. **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008.

GOUVEIA A. M. C.; ETRUSCO P. **Tempo de escape em edificações: os desafios do modelamento de incêndio no Brasil**. Rem: Rev. Esc. Minas, v. 55, n. 4, 2002. ISSN 1807-0353.

H.M. GOVERNMENT **Fire safety risk assessment**. Department for Communities and Local Government, Eland House, May 2006. ISBN-13: 978 1 85112 821 1; ISBN-10: 1 85112 821 2.

HADJI S.O.;PHOCLEOUS G. V.; BENICHOU N. Performance criteria used in fire safety design. Automation in Construction. v. 8, p. 489 – 501, 1999.

HELBING D.; FARKAS I.; VICSEK T. **Simulating dynamical features of escape panic**. Revista Nature, v. 407, p. 487 – 490, 28 set. 2000.

HELBING, D.; MULNÁR, P. **Social force model for pedestrian dynamics**. Physical Review E, v. 5, n. 5, p. 4282 – 4286, may 1995.

MATTEDI D. L. **Uma contribuição ao estudo do processo de projeto de segurança contra incêndio baseado em desempenho**. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.

MEACHM B. J. Fire safety engineering at a crossroad. Case studies in fire safety.v.1, p. 8- 12, 2014.

MORAES W. A. Estudo da obstrução das saídas de emergência durante a evacuação urgente sob elevada densidade populacional. Monografia. Originalmente apresentada como trabalho de conclusão de curso. Florianópolis, CEBM, 2014.

MORAES W.A.; VIDAL V. V. **É fogo: quando faltam portas e sobra gente**. Rev. Ignis: revista técnico científica do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, Florianópolis, v. 1, n. 1, 2016.

MUNIZ R. M. D. **O uso de simuladores como uma ferramenta de auxílio na definição dos requisitos de planos de retirada de emergência: estudo de caso em um centro de pesquisas de uma instituição pública de ensino superior.** Dissertação. (Mestrado em Engenharia Ambiental) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

NEGRISOLO W. Arquetando a segurança contra incêndio. Tese (Doutorado em Arquitetura). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

NELSON, H. E.; MOWRER, F. W. Emergency Movement. In: DINEMNNO, P. J. et al. **SFPE Handbook of Fire Protection Engineering**. 3ª Edição. Quincy: National Fire Protection Association, 2002. cap. 14, p. 367 – 380.

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. Tese (Livre Docência- Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO – Corpo de Bombeiros. **IT12/2011**: Centros esportivos e de exibição – requisitos de segurança contra incêndio. São Paulo, 2011.

REYNOLD C. W. Steering Behaviors For Autonomous Characters. Proceedings of the Game Developers Conference 1999. 1999, Miller Freeman Game Group, San Francisco, California, p. 763-782.

RONCHI E.; ALVEAR D.; BERLOCO N.; CAPOTE J.; COLONNA P.; CUESTA A. Human Behaviour in road tunnel fires: comparison between egress models (FDS+Evac, STEPS, Pathfinder). International conference on Fire Science and Engineering Interflam 2010 In Proceedings of Interflam, p.837-848, 2010.

ROSA A. F. F. N. Segurança contra incêndio em discotecas. 2010. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010.

SABOIA, P. C. **Simulação de multidões com agentes brownianos e modelo de forças sociais modificado**. 2010. Dissertação. (Mestrado em Ciências da Computação) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010

SALYERS B.; JONES B. **Evacuation Modeling Dependence input parameters**. Proceedings, Fire and evacuation modeling technical conference 2011, Baltimore, Maryland 15 – 16, 2011.

SFPE. Engineering Guide - Human Behavior in Fire. Society of Fire Protection Engineers. June, 2003.

SILVA V. P.; VARGAS M. R.; ONO R. Prevenção contra incêndio no projeto de arquitetura. Instituto aço do Brasil. Centro brasileiro da construção em aço. Rio de Janeiro, 2010.

TAVARES, R. M.; SILVA, A.C. P.; DUARTE, D. Códigos prescritivos x códigos baseados no desempenho: Qual é a melhor opção para o contexto do Brasil. In: XXII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2002, Curitiba, PR. Anais. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2002. p. 1-8.

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

THUNDERHEAD ENGINEERING. **Technical Reference**. PATHFINDER, 2012.

TUBBS, S. JEFFREY & MEACHAM . Egress design solutions – A guide to evacuation and crowd management planning. Inc. New Jersey, 2007.

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.

ZHANG J.; SEYFRIED A. **Empirical Characteristics of Different Types of Pedestrian Streams**. Procedia Engineering, v. 62, p. 655 - 662, 2013.