

Ivana Righetto Moser

**EVACUAÇÃO SEGURA DE PESSOAS
EM INCÊNDIOS EM EDIFÍCIOS
E ÁREAS COM INTERESSE HISTÓRICO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.
Orientador: Prof. Dr. João Carlos Souza

Florianópolis
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária
da UFSC.

Moser, Ivana Righetto
Evacuação segura de pessoas em incêndios em
edifícios e áreas com interesse histórico / Ivana
Righetto Moser ; orientador, João Carlos Souza,
2018.
236 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós
Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Florianópolis,
2018.

Inclui referências.

1. Arquitetura e Urbanismo. 2. Arquitetura e
patrimônio. 3. Prevenção contra incêndio. 4. Evacuação
de emergência. 5. Simulação computacional. I. Souza,
João Carlos. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e
Urbanismo. III. Título.

Ivana Righetto Moser

**EVACUAÇÃO SEGURA DE PESSOAS
EM INCÊNDIOS EM EDIFÍCIOS
E ÁREAS COM INTERESSE HISTÓRICO**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre” e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 17 de agosto de 2018.

Prof. Fernando Simon Westphal, Dr.
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

Banca Examinadora:

Prof. João Carlos Souza, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Fernando Simon Westphal, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Arnaldo Debatin Neto, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Ricardo Villarroel Dávalos, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus pais
Eunice e Júlio, a minha irmã Juliana e
a meu marido Leonardo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que colaboraram no desenvolvimento da dissertação, em especial:

Aos meus pais Eunice e Júlio, que me ensinaram o valor do conhecimento. Que me amparam e fortalecem, demonstrando apoio nas horas difíceis e entusiasmo nos momentos alegres.

A minha irmã Juliana, minha eterna coorientadora, por toda motivação e orientação. Por ouvir e corrigir meus ensaios de apresentações. Minha maior inspiração e a quem sigo os passos para me tornar uma melhor pessoa e melhor profissional.

Ao cunhado Ricardo e ao querido sobrinho Augusto, pela atenção e pela paciência demonstrados sempre que precisei roubar-lhes respectivamente a esposa e a mãe Juliana. Sou grata por sempre trazerem a alegria nos momentos de descontração da rotina.

Ao meu marido mais que perfeito Leonardo, por todo o carinho e pelo seu ombro amigo. Meu maior incentivador, que me ajuda a seguir confiante sempre. Agradeço o imenso amor demonstrado em todos os momentos dessa trajetória.

Ao meu orientador Professor João Carlos, por todo o ensinamento e tranquilidade transmitidos e por acreditar no meu potencial. Agradeço pelo encorajamento no desenvolvimento do tema e por demonstrar constantemente como ser um excelente professor.

Ao Professor Barth e à Professora Michele, por disponibilizarem um local no Labsisco onde pude desenvolver os estudos e realizar o trabalho diário da pesquisa.

À servidora Mariany e a todos os servidores da secretaria do departamento, que prontamente esclareceram as dúvidas e auxiliaram com a documentação, sempre prestativos e de maneira tranquila e afável.

Aos professores das disciplinas cursadas durante o mestrado, que contribuíram para meu crescimento nessa nova etapa de vida acadêmica.

Agradeço também aos membros das bancas de qualificação e de defesa, pela disponibilidade e pelas contribuições para esse trabalho.

À equipe da Fundação Catarinense de Cultura e à direção do Colégio Catarinense, que abriram as portas de seus edifícios e forneceram todos os projetos essenciais à pesquisa. Sem esse apoio e confiança não seria possível a realização dessa dissertação.

À PTV Group, que com as licenças acadêmicas de seus produtos viabiliza e fomenta a pesquisa mundialmente.

Aos queridos Arthur e Aretha, pelo auxílio e paciência nas modelagens em Revit.

Aos amigos Letícia, Roberta e Pedro, pelo auxílio nos contatos para solucionar as dúvidas em BIM.

À adorável Manuela, que pacientemente corrigiu o meu texto, por diversas vezes, e me fez crescer de tantas maneiras, seja no trabalho em si ou no dia a dia, construindo nossa amizade.

Aos amigos e colegas que fiz dentro do programa, pelas tardes de estudo em grupo, pelas conversas e trocas de experiências, por todo o companheirismo e por fazerem esse processo mais leve.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro. Tem o papel decisivo sobre o êxito da pesquisa científica no país, que gera impacto direto a sociedade.

À Universidade Federal de Santa Catarina e ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, pela oportunidade que me concederam para obter este título.

RESUMO

Os incêndios em edifícios são fenômenos aleatórios e extremamente violentos e a evacuação segura das pessoas é a tática mais garantida no salvamento de vidas humanas. A evacuação correta depende da percepção dos espaços pelo indivíduo, do layout arquitetônico e da presença de sistemas de encaminhamento adequados. No caso de edificações históricas, que foram construídas quando ainda não se contava com as atuais exigências de segurança, faz-se necessário a adaptação desses espaços para torná-los seguros. O objetivo principal desta pesquisa é analisar a segurança contra incêndios em edifícios e áreas de interesse histórico com grande concentração de pessoas, principalmente quando houver dificuldade em se adotar as normas técnicas vigentes, dando-se ênfase à garantia da evacuação segura das pessoas. Com esse foco, foi realizado estudo de caso em três edifícios históricos tombados em Florianópolis/SC: o Museu Histórico de Santa Catarina, o Teatro Álvaro de Carvalho e o Colégio Catarinense. Foram analisados os parâmetros para o dimensionamento das medidas de segurança contra incêndio e pânico atualmente implantados nesses edifícios, referentes à evacuação segura de pessoas. Aplicou-se a abordagem embasada na Instrução Técnica nº 35/2017 (2ª Edição) – Segurança contra incêndio em edificações que compõem o patrimônio cultural, do Corpo de Bombeiros do Estado de Minas Gerais. Posteriormente, foram realizadas simulações computacionais, a partir de software baseado em desempenho, especificamente para o estudo da evacuação de pessoas nos objetos escolhidos. Com os resultados das aplicações, fizeram-se as análises comparativas entre a IT e as simulações. Foram estudados os conceitos relacionados ao patrimônio cultural e sua preservação, os atuais códigos de segurança contra incêndio com os estudos das abordagens prescritivas e baseadas em desempenho para as saídas de emergência e a especificidade da atual legislação brasileira de segurança contra incêndio em edifícios históricos. Com o intuito de tratar das diretrizes de evacuação segura de pessoas em situação de emergência, em locais de interesse histórico, caracterizou-se as particularidades desses frente à segurança contra incêndio. Foram discutidos, ainda, alguns casos de incêndio em locais históricos e apresentada uma revisão de literatura sobre os estudos publicados que abordam a evacuação de pessoas em locais históricos.

Palavras-chave: Arquitetura. Patrimônio. Prevenção contra incêndio. Evacuação de emergência. Análise de desempenho. Simulação computacional.

ABSTRACT

Building fires are random phenomena that can be extremely violent, being the safe evacuation of the people the most guaranteed tactic in the rescue of human lives. The correct evacuation of buildings and other spaces occupied by people means the exit of the place as soon as possible and the most appropriate way considering each context. It depends on the perception of spaces by the individual, the architectural layout and the presence of suitable routing systems. In the case of historic buildings, which were built when the current security requirements were not yet in place, it is necessary to adapt these spaces to make them safe. The main objective of this research is to analyse fire safety in buildings and areas of historical interest with great concentration of people, especially when it is difficult to adopt the current technical standards, with emphasis on ensuring the safe evacuation of people. With this focus, a case study was conducted in three historical buildings listed in Florianópolis / SC: the Museu Histórico de Santa Catarina, the Teatro Álvaro de Carvalho and the Colégio Catarinense. Its physical and historical characteristics and its occupants were analyzed, as well as the parameters for the dimensioning of the fire and panic safety measures currently implemented in these buildings, related to the safe evacuation of people. The approach based on Technical Instruction No. 35/2017 (2nd Edition) - Fire safety in buildings that make up the cultural heritage of the Fire Department of the State of Minas Gerais was applied, which makes it possible to use evaluation criteria based on performance, respecting the peculiarities of cultural heritage. Subsequently, computational simulations were performed, based on performance-based software, specifically for the study of the evacuation of people in the chosen objects. The concepts related to cultural heritage and its preservation, current fire safety codes, studies of prescriptive and performance - based approaches to emergencies and the specificity of current Brazilian fire safety legislation in historic buildings were studied. In order to deal with the guidelines for the safe evacuation of people in an emergency situation in places of historical interest, the characteristics of these places and buildings against fire safety were characterized. Still, some cases of fire in historical sites and a review of the literature on the published studies that address the evacuation of people in historical sites were discussed.

Keywords: Architecture. Heritage. Fire prevention. Emergency evacuation. Performance analysis. Computer simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - O ciclo do desastre.....	38
Figura 2 - O comportamento de rebanho em situações de pânico em multidões.	42
Figura 3 - Efeito de entupimento em um estádio de futebol, durante uma evacuação de torcedores em pânico.	43
Figura 4 - Imagem do software <i>CrowdSim</i> com renderização de humanoides 3D.....	52
Figura 5 - Mapa de densidade apresentado pelo <i>CrowdSim</i>	52
Figura 6 - A multidão entrando na mesquita de Sokullu.....	54
Figura 7 - A multidão rezando na mesquita.	54
Figura 8 - Simulação de pedestres enfileirando-se.....	55
Figura 9 - Estudo de contra fluxo para pedestres.	55
Figura 10 - Curva de desenvolvimento do incêndio.....	58
Figura 11 - Descrição do incêndio pelo modelo de duas camadas.	59
Figura 12 - Partes de um edifício típico.	91
Figura 13 - Centro histórico do Rio de Janeiro.	93
Figura 14 - Centro histórico de São Luís.	93
Figura 15 - Fluxograma do método aplicado.	109
Figura 16 - Museu Histórico de Santa Catarina.	111
Figura 17 - Teatro Álvaro de Carvalho.	111
Figura 18 - Prédio principal do Colégio Catarinense.	111
Figura 19 - Localização dos objetos de análise.	112
Figura 20 - Planta térrea e do subsolo com as áreas do MHSC.....	119
Figura 21 - Planta do pavimento superior com as áreas do MHSC.....	120
Figura 22 - Palácio do Governo, c. 1890.....	120
Figura 23 - MHSC atualmente.	120
Figura 24 - Plantas baixas e corte do Museu Histórico de Santa Catarina.	123
Figura 25 - Rota de fuga do pavimento superior do Museu Histórico de Santa Catarina.	127
Figura 26 - Rota de fuga do pavimento térreo do Museu Histórico de Santa Catarina.	129
Figura 27 - Sala de exposição temporária e as portas de saída para os fundos do museu.	131
Figura 28 - Sala de exposição térrea ao fundo e porta automática de vidro a direita.	131
Figura 29 - Visitante numa das salas de exibição permanente do museu.	132

Figura 30 - Visitantes em visita ao museu.	132
Figura 31 - Abrigo de mangueiras de incêndio.	133
Figura 32 - Extintor de piso e, ao fundo, luminária de emergência fixada na parede.	133
Figura 33 - Sinalização de abandono e luminária de emergência sobre a porta.	133
Figura 34 - Resumo das características do edifício estudado- MHSC.	135
Figura 35 - Retirada do pilar na base das escadas internas no museu.	140
Figura 36 - Avatar preso no obstáculo folha da porta e alteração do obstáculo.	141
Figura 37 - Simulação da evacuação do MHSC com cenário 5.	142
Figura 38 - Simulação da evacuação do MHSC com cenário 4.	142
Figura 39 - Mapa de densidade do MHSC com cenário 1.	143
Figura 40 - Mapa de densidade do MHSC com cenário 6.	143
Figura 41 - Antigo Teatro Santa Isabel, c. 1880.	149
Figura 42 - Teatro Álvaro de Carvalho atualmente.	149
Figura 43 - Plateia, camarotes e balcão.	149
Figura 44 - Palco do TAC.	149
Figura 45 - Plantas baixas e corte do TAC	151
Figura 46 - Rotas de fuga do Teatro Álvaro de Carvalho.	157
Figura 47 - Entrada dos espectadores pela escada da plateia.	160
Figura 48 - Acesso dos espetadores pela escadaria esquerda.	160
Figura 49 - Ocupantes do TAC antes do espetáculo.	160
Figura 50 - Porta travada da Saída 4.	162
Figura 51 - Rota de fuga do palco.	162
Figura 52 - Poltronas do nível balcão.	164
Figura 53 - Detalhe do espaço entre as poltronas do nível balcão.	164
Figura 54 - Restrição de circulação entre fileiras.	164
Figura 55 - Restrição de circulação em frente ao palco.	164
Figura 56 - Lona cênica entre palco e bastidores.	165
Figura 57 - Cortinas nos acessos da plateia ao hall.	165
Figura 58 - Cortinas nos acessos da plateia ao hall fechadas.	165
Figura 59 - Resumo das características do edifício estudado - TAC. .	166
Figura 60 - Modelagem 3D do TAC no software Revit.	169
Figura 61 - Modelagem 3D do TAC após conversão para o <i>PTV Vissim</i>	170
Figura 62 - Modelagem 3D do TAC no software Revit.	170
Figura 63 - Modelagem 3D do TAC após conversão para o <i>PTV Vissim</i>	171
Figura 64 - Edifício do Colégio Catarinense em 1929.	173

Figura 65 - Croqui da planta de telhado do edifício principal em 1929.	173
Figura 66 - Edifício principal do Colégio Catarinense atualmente.	173
Figura 67 - Croqui da planta de telhado do edifício principal atualmente.	174
Figura 68 - Plantas baixas e corte do Colégio Catarinense.	175
Figura 69 - Rotas de fuga do térreo e 1º pavimentos do Colégio Catarinense.	181
Figura 70 - Rotas de fuga do 2º e 3º pavimentos do Colégio Catarinense.	183
Figura 71 - Movimentação dos alunos durante a saída da escola.	186
Figura 72 - Movimentação dos alunos na escada 3.	186
Figura 73 - Porta pantográfica da Escada 4, junto ao térreo, parcialmente fechada.	189
Figura 74 - Porta pantográfica da Escada 3, junto ao térreo, aberta.	189
Figura 75 - Guarda-corpo da Escada 2.	190
Figura 76 - Abertura da porta formando obstáculo.	190
Figura 77 - Resumo das características do edifício estudado – Colégio Catarinense.	190
Figura 78 - Simulação da evacuação do Colégio Catarinense com cenário 1.	195
Figura 79 - Avatares presos no mobiliário das salas de aula.	196
Figura 80 - Simulação da evacuação do Colégio Catarinense no cenário 1 – escadas 2 e 3.	197
Figura 81 - Simulação da evacuação do Colégio Catarinense no cenário 1 - aglomeração junto a escada 2.	197
Figura 82 - Simulação da evacuação do Colégio Catarinense no cenário 1 – gargalos e aglomeração junto a escada 3.	197
Figura 83 - Simulação da evacuação do Colégio Catarinense com cenário 3 – vista 2D da saída 1.	198
Figura 84 - Simulação da evacuação do Colégio Catarinense com cenário 3 – aproximação da saída 1.	198
Figura 85 - Mapa de densidade durante a simulação do Colégio Catarinense com cenário 3.	199

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Softwares de simulação	48
Quadro 2 - Fatores das edificações e suas influências	63

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Tempos e distâncias obtidos no cenário 1 do MHSC.	144
Gráfico 2 - Tempos e distâncias obtidos no cenário 2 do MHSC.	145
Gráfico 3 - Tempos e distâncias obtidos no cenário 3 do MHSC.	145
Gráfico 4 - Tempos e distâncias obtidos no cenário 4 do MHSC.	145
Gráfico 5 - Tempos e distâncias obtidos no cenário 5 do MHSC.	146
Gráfico 6 - Tempos e distâncias obtidos no cenário 6 do MHSC.	146
Gráfico 7 - Tempos e distâncias obtidos no cenário 1 do Colégio Catarinense.	200
Gráfico 8 - Tempos e distâncias obtidos no cenário 2 do Colégio Catarinense.	200
Gráfico 9 - Tempos e distâncias obtidos no cenário 3 do Colégio Catarinense.	201
Gráfico 10 – Pessoas evacuadas x tempo - Colégio Catarinense no cenário 3.	202

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens dos códigos prescritivos.	77
Tabela 2 - Vantagens e desvantagens dos códigos baseados em desempenho.....	78
Tabela 3 - Caracterização das principais normas vigentes.	79
Tabela 4 - Configuração dos cenários estudados no MHSC.	139
Tabela 5 - Resumo dos tempos e distâncias médios calculados.....	146
Tabela 6 - Configuração dos cenários estudados no Colégio Catarinense.	195

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM – *American Society for Testing and Materials*
BCA – *Building Code of Australia*
BD – *Behavioral design*
BIM – *Building Information Modelling*
CAD – *Computer-Aided Design*
CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CFPA-Europe – *The Confederation of Fire Protection Associations Europe*
CIB – *International Council for Research and Innovation in Building and Construction*
CMAR – Controle de materiais de acabamento e de revestimento
FCC – Fundação Catarinense de Cultura
ICC – *International Code Council*
IEGS – *Intelligent evacuation guidance systems*
IEPHA – Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico de Minas Gerais
IMO – *The International Maritime Organization of London*
IN – Instrução normativa
IoT – *Internet of Things*
IPHAN – Instituto de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISO – *International Organization for Standardization*
IT – Instrução Técnica
JICA – *Japan International Cooperation Agency*
LARIn – Laboratório de Análise de Risco de Incêndio
MHSC – Museu Histórico de Santa Catarina
NFPA – *National Fire Protection Association*
NPT – Norma de Procedimento Técnico
NT – Norma Técnica
NZBC – *New Zealand Building Code*
PBC – *Performance-based code*
PQS – Pó químico seco
PTV – *Planung Transport Verkehr*
PUCRS – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
RP – *Risk perception*
SSF – *Systematic Search Flow*
TAC – Teatro Álvaro de Carvalho
TRRF – Tempo requerido de resistência ao fogo
VHLab – Laboratório de Simulação de Humanos Virtuais

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	29
1.2 OBJETIVOS	32
1.2.1 Objetivo geral	32
1.2.2 Objetivos específicos	32
1.3 JUSTIFICATIVA	32
1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	34
1.5 ESTRUTURA DO PROJETO	34
2 LOGÍSTICA HUMANITÁRIA E EMERGÊNCIAS DE INCÊNDIO	37
2.1 O PAPEL DA LOGÍSTICA HUMANITÁRIA NA EVACUAÇÃO SEGURA DE PESSOAS EM SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA	38
2.2 COMPORTAMENTO HUMANO EM SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA	40
2.3 O ESTUDO DE TRÁFEGO DE PEDESTRES	46
2.4 SIMULADORES COMPUTACIONAIS DE EVACUAÇÃO DE PESSOAS EM SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA	47
2.4.1 EXIT89 X Simulex	49
2.4.2 CrowdSim	51
2.4.3 VHD++	53
2.4.4 PTV Viswalk	54
2.4.5 A escolha do software para o estudo	56
3 INCÊNDIO	57
3.1 FUNDAMENTOS DO FOGO E INCÊNDIO E AS MEDIDAS DE SEGURANÇA	59
3.2 ELEMENTOS DA EVACUAÇÃO DE PESSOAS	67
3.2.1 Elementos de projeto	67
3.2.2 Elementos humanos	69
4 PATRIMÔNIO HISTÓRICO E SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO	71
4.1 EDIFÍCIOS E CENTROS HISTÓRICOS	71
4.2 DA PRESERVAÇÃO	73
4.3 MEDIDAS DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO EM EDIFÍCIO HISTÓRICOS	74
4.4 CÓDIGOS DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO	76

4.4.1 Códigos de segurança contra incêndio baseados em desempenho	80
4.4.2 Análise de risco de incêndio em sítios e edifícios históricos	81
4.4.3 Legislação brasileira atual de segurança contra incêndio em edifícios históricos	84
4.5 CARACTERIZAÇÃO DOS LOCAIS DE INTERESSE DE PRESERVAÇÃO	89
4.5.1 Edifícios Históricos	90
4.5.2 Centros Históricos	92
4.6 CASOS DE INCÊNDIO EM LOCAIS HISTÓRICOS	94
4.6.1 Mercado Público Municipal de Florianópolis	95
4.6.2 Imperial Hospital de Caridade	96
4.6.3 Casas Coelho	96
4.7 SEGURANÇA EM LOCAIS HISTÓRICOS	97
4.7.1 Teatro Gentile da Fabriano – Estudos de Evacuação	98
4.7.2 Evacuação de área histórica - Caso de Matera	101
4.7.3 Estudo de Evacuação em Edifícios Históricos	103
4.7.4 Estudos relacionados ao risco de incêndio em centros históricos	105
5 MÉTODO DE PESQUISA	109
5.1 ESTUDO DE CASO	110
5.2 COLETA DE DADOS	113
5.3 APLICAÇÃO DA INSTRUÇÃO TÉCNICA Nº 35/2017 (2ª EDIÇÃO)	114
5.4 APLICAÇÃO DO SOFTWARE COMPUTACIONAL	115
5.4.1 Características gráficas do software	115
5.4.2 Parâmetros das simulações	116
5.4.3 Composição dos pedestres	117
5.4.4 Extração de dados	117
6 DISCUSSÃO E RESULTADOS	119
6.1 MUSEU HISTÓRICO DE SANTA CATARINA	119
6.1.1 Aspectos históricos e físicos do edifício	120
6.1.2 Rotas de fuga	125
6.1.3 Ocupantes	131
6.1.4 Medidas de proteção existentes	132
6.1.5 Exceções frente às exigências das normas prescritivas junto ao patrimônio	134
6.1.6 Aplicação da Instrução Técnica nº 35/2017 – 2ª Edição	134
6.1.7 Simulação computacional	138
6.2 TEATRO ÁLVARO DE CARVALHO	147

6.2.1 Aspectos históricos e físicos do edifício	148
6.2.2 Rotas de fuga	156
6.2.3 Ocupantes	161
6.2.4 Medidas de proteção existentes	161
6.2.5 Exceções frente às exigências das normas prescritivas junto ao patrimônio	163
6.2.6 Aplicação da Instrução Técnica nº 35/2017 (2ª Edição)	165
6.2.7 Simulação computacional	169
6.3 COLÉGIO CATARINENSE	172
6.3.1 Aspectos históricos e físicos do edifício	172
6.3.2 Rotas de fuga	179
6.3.3 Ocupantes	187
6.3.4 Medidas de proteção existentes	187
6.3.5 Exceções frente às exigências das normas prescritivas junto ao patrimônio	189
6.3.6 Aplicação da Instrução Técnica nº 35/2017 (2ª Edição)	190
6.3.7 Simulação computacional	194
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	203
7.1 RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	204

1 INTRODUÇÃO

Incêndios de grandes proporções atingem o patrimônio edificado e causam consequências devastadoras à sociedade com perdas sociais, econômicas e humanas (MITIDIERI; IOSHIMOTO, 1998).

Os incêndios identificados em patrimônio histórico colocam em risco não somente a salvaguarda da população, como também a de objetos, acervo e o próprio edifício ou sítio histórico. É necessário ressaltar a importância dessa herança cultural, pois ela tem grande valor tanto para uma cidade, país, como para a humanidade. A possível perda de bens históricos e culturais atinge emocionalmente e economicamente a sociedade (ONO, 2004). Algumas vezes, é possível a reconstrução material do que se perdeu, por meio das informações prévias que se tinha do bem, porém, o valor da autenticidade e de sua história foi consumido pelas chamas. As perdas humanas, no entanto, nunca serão reparadas (ARAÚJO; SOUZA; GOUVÊIA, 2005).

A experiência profissional adquirida pela mestrandia ao longo dos anos, no trabalho com projeto e obra de restauração do patrimônio histórico, possibilitou a percepção da fragilidade e vulnerabilidade que os edifícios históricos possuem, no que se refere à segurança contra incêndio. Além disso, constata-se a fragilidade das instalações de incêndio atualmente implantadas no patrimônio edificado da cidade de Florianópolis, onde os sistemas de proteção ativa existentes são insuficientes ou podem danificar as edificações e seu acervo, o que conota uma vulnerabilidade do patrimônio perante cenários de incêndio (SERPA, 2009).

As pesquisas brasileiras relativas à segurança contra incêndio foram iniciadas na década de 1970, depois de dois grandes incêndios ocorridos nos edifícios Joelma e Andraus, ambos na cidade de São Paulo/SP. Esses incêndios fizeram centenas de vítimas diretas e indiretas (SEITO et al., 2008). Naquele ano, foi criado o laboratório de segurança contra incêndios no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) do Estado de São Paulo, patrocinado pela *Japan International Cooperation Agency (JICA)*, possibilitando estudos e testes (FERNANDES, 2010a).

Continuamente, percebe-se que a busca de soluções a partir da pesquisa científica acontece após a ocorrência de grandes desastres que arrasam o patrimônio, seja material ou humano, tombado ou não. Nesse sentido, podem ser citadas algumas pesquisas, acerca da proteção contra incêndio, realizadas após o recente desastre ocorrido na Boate Kiss, na cidade de Santa Maria / RS, em 2013 (ALVARES et al., 2016; SILVA et al., 2016).

Mitidieri e Ioshimoto (1998) afirmam que, mesmo com diversas pesquisas já desenvolvidas no campo da segurança contra incêndio, muito ainda deve ser estudado, pesquisado, planejado e introduzido em regulamentações nacionais para que se alcance um nível aceitável junto à sociedade brasileira.

Segundo Souza (1996), todo o edifício deve possuir rotas de fuga, alarmes e sistema de orientação para que a evacuação imediata da população que se encontra neste edifício seja realizada da maneira mais rápida e sem pânico ou acidentes no percurso, que repetidamente ocasionam maior número de vítimas que o próprio fogo. Da mesma forma, Bernardini et al. (2016) afirmam que a evacuação correta do edifício, significando uma saída em pouco tempo e pelo caminho apropriado, depende da percepção dos espaços pelo indivíduo, do layout arquitetônico e da presença de sistemas de encaminhamento adequados.

Como as edificações históricas, de interesse de preservação, foram construídas em outra época, quando ainda não se contava com as atuais exigências de segurança, deve-se adaptar esses espaços para torná-los seguros. Para a adequação de edificações e áreas históricas, toda intervenção deve ser orientada pelo absoluto respeito aos valores estéticos e históricos daquela área ou monumento, preservando sua integridade física e o seu aspecto documental. Considerando-se edificações históricas, um grande cuidado deve ser tomado em relação a adaptações para prevenir e proteger esses edifícios de mudanças significativas nos seus valores históricos e culturais (LENA et al., 2012). A fim de respeitar as características especiais do patrimônio cultural, deve-se conhecer quais são as suas diferenças para possibilitar a criação de rotas de fuga seguras para o escape dos usuários.

Edifícios de interesse de preservação, muitas vezes, formam conglomerados nos centros históricos, sendo difícil o acesso de equipes de combate e resgate em casos de incêndio. Ono (2004) coloca a seguinte questão para reflexão:

Quem poderia imaginar um incêndio destruindo, por exemplo, o Museu do Louvre (Paris, França), o Museu Britânico (Londres, Inglaterra) ou a Biblioteca do Congresso dos EUA? Seria inadmissível tanto para a comunidade local como para o mundo todo. Pois, nestes casos, mesmo que as obras de arte ou o acervo estejam cobertos por seguro, dinheiro nenhum poderá repô-los (ONO, 2004, p. 1).

Estudos acerca do comportamento dos materiais de elementos estruturais em situação de incêndio possibilitam avaliar a segurança das estruturas (MORAES; RODRIGUES; SANTOS, 2009). Dentre esses estudos, pode-se citar: a contínua busca por materiais e componentes construtivos a fim de obter maior segurança construtiva para evitar ou diminuir a propagação do incêndio (MITIDIERI; IOSHIMOTO, 1998); as concepções e adaptações arquitetônicas que levam ao aumento da segurança ao incêndio com compartimentações e estudos baseados em desempenho (MATTEDI, 2005); e o gerenciamento dos riscos de incêndio, que reflete globalmente sobre o controle da exposição à situação de incêndio, dentre outras abordagens.

O comportamento humano em situações de risco de incêndio, ou em outras situações de risco, é amplamente estudado por áreas diversas como psicologia (FAHY; PROULX; AIMAN, 2009; VORST, 2010) e engenharia de tráfego, com estudos de Helbing et al. (2002) e Helbing e Johansson (2013). Destaca-se, também, as pesquisas experimentais que se utilizam de modelos e ensaios (DAAMEN; HOOGENDOORN, 2010; KHOLSHEVNIKOV; SAMOSHIN, 2008).

O cenário abordado nesta pesquisa será o patrimônio histórico brasileiro em situação de incêndio. Contudo, serão abordados estudos e alguns exemplos mundiais para aprofundamento dos modelos. Esses estudos versam, principalmente, sobre rotas de fuga em edifícios e sítios históricos, levando-se em conta o modo como se comportam os ocupantes desses locais e o imperativo da mínima intervenção ao patrimônio para a preservação das suas características originais.

Tendo isso exposto, pretende-se, com esta pesquisa, analisar a segurança contra incêndios de locais de interesse histórico para o caso de não ser possível aplicar os requisitos das normas técnicas vigentes no estado ou no país. A análise será feita a partir do estudo de trabalhos correlatos de simulação de cenários de incêndio e aplicação da Instrução Técnica nº 35/2017 (2ª Edição) – Segurança contra incêndio em edificações que compõem o patrimônio cultural, do Corpo de Bombeiros do Estado de Minas Gerais, associado à simulação computacional em três estudos de caso. Para entendimento do tema, serão discutidos os códigos de segurança contra incêndio para as saídas de emergência e sua aplicação aos locais de interesse de preservação, caracterizando as particularidades existentes em edifícios e sítios históricos. Também será abordado o papel da Logística Humanitária na evacuação segura de pessoas em situação de incêndio, apresentando-se os principais conceitos deste tipo de emergência.

1.2 OBJETIVOS

A seguir serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho.

1.2.1 Objetivo geral

Analisar a segurança contra incêndios em edifícios e áreas de interesse histórico com grande concentração de pessoas, principalmente quando houver dificuldade em se adotar as normas técnicas vigentes, dando-se ênfase à garantia da evacuação segura das pessoas.

1.2.2 Objetivos específicos

a) abordar o papel da Logística Humanitária na evacuação segura de pessoas em situação de incêndio, apresentando-se os principais conceitos deste tipo de emergência;

b) aplicar os códigos de segurança contra incêndio para as saídas de emergência em locais de interesse de preservação, caracterizando-se as particularidades existentes em edifícios e sítios históricos;

c) analisar trabalhos correlatos de simulação de evacuação em cenários de incêndio trazendo-se as pesquisas mais recentes nessa área;

d) estudar três edificações históricas tombadas quanto as suas especificidades e a sua segurança referente a saídas de emergência;

e) verificar se a simulação computacional auxilia a adoção de medidas alternativas quando da impossibilidade de aplicação daquelas previstas em Instrução Técnica e Normas da ABNT.

1.3 JUSTIFICATIVA

Os incêndios em edifícios são fenômenos que podem ser extremamente violentos e aleatórios, sendo a evacuação segura das pessoas a tática mais garantida no salvamento de vidas humanas (GOUVEIA; ETRUSCO, 2002). Ao auxiliar na preparação e resposta a esse tipo de fenômeno, a aplicação de conceitos relacionados à logística humanitária torna-se um diferencial nos estudos relacionados ao tema. A antecipação aos desastres e a garantia do auxílio às vítimas após a sua ocorrência, de forma eficiente e eficaz, possibilita a salvaguarda de vidas e o alívio do sofrimento humano (THOMAS, 2007). Isso justifica a abordagem que considera os conceitos desse ramo especial da logística na evacuação segura de pessoas em situação de incêndio.

Os códigos de segurança contra incêndio podem determinar o que deve ser observado e como as exigências devem ser atendidas, podendo também, basear-se no desempenho dos agentes envolvidos numa situação de incêndio, tais como, as características da edificação, o desenvolvimento do incêndio e o comportamento dos ocupantes (SILVA, 2003). Dessa forma, têm-se os códigos prescritivos e os baseados em desempenho. É determinante, para o desenvolvimento deste trabalho, que ambos sejam considerados nas etapas futuras de análises. Além desses códigos, a discussão de códigos internacionais pode contribuir para uma visão mais ampla e aprofundada do tema, especialmente quando as particularidades de edifícios históricos precisam ser observadas.

O grande número de incêndios ou princípios de incêndios ocorridos em locais históricos tem incitado o desenvolvimento de trabalhos científicos que colaborem para a resolução ou mitigação desse problema. Edifícios e centros históricos possuem peculiaridades que outros edifícios contemporâneos não apresentam, como por exemplo, o respeito pelas características construtivas, pelos materiais, pelo layout, entre outros, o que muitas vezes impossibilita o atendimento às normas técnicas de segurança contra incêndio em sua totalidade. Simuladores computacionais de evacuação são ferramentas amplamente utilizadas para a avaliação da segurança de pessoas em edifícios ou locais de aglomeração. Dentre eles, há os que permitem simulações de evacuação de emergência considerando o comportamento humano frente a essas situações. Por conhecer-se a importância desse tipo de avaliação e para uma adequada aplicação do modelo computacional que será utilizado neste trabalho, aponta-se a necessidade de análise de trabalhos correlatos de simulação de cenários de incêndio. Esses trabalhos compreendem as pesquisas mais atuais sobre o tema.

No caso de edifícios históricos, a utilização da simulação computacional baseada em desempenho é justificada pela necessidade de se verificar a sua real contribuição na adoção de medidas alternativas para a evacuação segura de pessoas nesse tipo de edificação. Especialmente na impossibilidade de aplicação daquelas medidas previstas na Instrução Técnica e Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, o que é comum nos edifícios tombados como patrimônio histórico. Por fim, o estudo de alternativas para bens tombados contribui para a segurança contra incêndio desses locais históricos, traduzindo-se em uma medida de conservação do patrimônio e salvaguarda de vidas humanas.

1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A presente pesquisa limita-se ao estudo relacionado aos edifícios e áreas de valor histórico. São priorizados os sistemas de proteção, prevenção e combate a incêndio que façam parte da rota de fuga. Apesar de o cenário escolhido para aprofundamento da pesquisa ser o patrimônio histórico brasileiro, outros estudos e exemplos mundiais são avaliados para servir de embasamento para esta pesquisa. Os estudos de caso são realizados em Florianópolis/SC. Não são abordados métodos de combate a incêndio, nem tratados detalhes técnicos e dimensionamentos que não fazem parte da evacuação de pessoas dos edifícios. Ressalta-se que as medidas de proteção analisadas são referentes à evacuação segura de pessoas, sendo elas: saídas de emergência, dimensionamento de circulações, posicionamento de luminárias, sinalizações, entre outros. Contudo, o sistema não será calculado ou projetado, mas sim, analisado quanto as suas atuais condições, se ajuda ou atrapalha a saída dos ocupantes dos edifícios quando em situações de emergência. Não são feitas análises financeiras comparativas entre os métodos utilizados ou propostos.

1.5 ESTRUTURA DO PROJETO

O texto está dividido em sete capítulos.

No Capítulo 1 apresenta-se a introdução, contendo a contextualização e relevância do tema pesquisado, os objetivos, justificativa, delimitações da pesquisa e estrutura do projeto.

No Capítulo 2 é abordado o papel da logística humanitária na evacuação segura de pessoas em situação de incêndio, apresentando seus aspectos gerais. São discutidos o comportamento humano em situações de emergência e o estudo de tráfego de pedestres. Faz-se, ainda, a apresentação de simuladores computacionais de evacuação de pessoas, identificando-se aquele adotado neste trabalho.

No Capítulo 3 são tratados os fundamentos do incêndio e suas medidas de segurança, elencando-se os principais elementos de segurança para a evacuação segura de pessoas.

No Capítulo 4 são apresentados os conceitos relacionados ao patrimônio cultural e sua preservação. São abordados os atuais códigos de segurança contra incêndio, com os estudos das abordagens prescritivas e baseadas em desempenho para as saídas de emergência e a especificidade da atual legislação brasileira de segurança contra incêndio em edifícios históricos. Com o intuito de tratar das diretrizes de evacuação

segura de pessoas em situação de emergência, em locais de interesse histórico, caracterizam-se as particularidades desses locais e edificações frente à segurança contra incêndio. São discutidos, ainda, alguns casos de incêndio em locais históricos e apresentada uma revisão de literatura sobre os estudos publicados que abordam a evacuação de pessoas em locais históricos.

No Capítulo 5 é apresentado o método utilizado para realizar a pesquisa, especificando os procedimentos de coleta e organização dos dados, assim como os estudos de caso propostos.

No Capítulo 6 apresentam-se a discussão e resultados da pesquisa.

No Capítulo 7 são apresentadas as considerações finais e as recomendações para trabalhos futuros;

Ao final, apresenta-se as referências bibliográficas envolvidas nesta pesquisa, apêndices e anexos.

2 LOGÍSTICA HUMANITÁRIA E EMERGÊNCIAS DE INCÊNDIO

É representativo o número de pessoas nos últimos anos, em todo o mundo, que sofreu as consequências de desastres naturais e artificiais (SANTOS; VILLAR; BURGARELLI, 2012). Contudo, infelizmente, mesmo frente a esses desastres, existe uma tendência de atuar somente após acontecida a emergência, tentando-se minimizar seus efeitos, deixando-se de lado a prevenção. A aplicação de conceitos de um tipo especial da logística, denominado logística humanitária, tem por objetivo se antecipar a estes desastres, possibilitando a diminuição dos sofrimentos que essas ameaças podem causar (FERNANDES, 2010b).

Apte (2009) define a logística humanitária como um ramo especial da logística, responsável pela cadeia de fornecimento de respostas de suprimentos e serviços críticos em situações de desastres naturais ou provocados pelo homem. Para a autora, a logística humanitária tem como objetivo superar a demanda, as previsões incertas, as janelas de tempo crítico diante de vulnerabilidades de infraestrutura e o vasto alcance e tamanho das operações.

O crescente número de artigos científicos publicados referentes à logística humanitária reflete a busca pela inovação do tema, consequência da maior proporção da ocorrência de desastres naturais e causados pelo homem, como mostra o estudo de Santos, Villar e Burgarelli (2012). Para os autores, até o ano de 2005, esses estudos eram bastante limitados.

Dentro da logística humanitária, segundo Apte (2009), o ciclo do desastre tem a seguinte evolução: preparação, resposta ao desastre e ajuda humanitária. De acordo com TRB (2010), esse ciclo envolve quatro etapas: preparar, responder, recuperar e mitigar, como mostra a Figura 1. Para a Política de Defesa Civil do Brasil, ele é dividido em prevenção do desastre, preparação e alerta de desastres, atendimento à emergência e reconstrução (BRASIL, 2007).

Para casos de incêndio, classificados como uma ameaça de origem tecnológica, proveniente de ação ou omissão humana, segundo Haddow, Bullock e Coppola (2013), dentro dessas etapas, destaca-se a preparação e a resposta. A preparação diz respeito à execução e implantação de um plano de emergência com a finalidade de traçar possíveis cenários, prever os riscos inerentes e a complexidade que o evento possui. A resposta engloba as atividades após o acontecimento do desastre, envolvendo a prestação de serviço de busca e salvamento das pessoas atingidas. É importante possuir um planejamento de transporte de pessoas, sejam elas indivíduos retirados ou saídos do local do sinistro, equipes de serviço de

resgate ou espectadores curiosos presentes nas imediações (SOUZA, 2015).

Figura 1 - O ciclo do desastre.



A medição das consequências previsíveis em grandeza ou probabilidade estatística de ocorrer um dano ou prejuízo conforma o risco, conforme conceituado pela Defesa Civil Nacional (BRASIL, 2007). A gestão de risco, um conceito construído no final da década de 1990 (LAVELL, 2003), consiste em todo o conjunto de técnicas e medidas preventivas que permitem identificar, avaliar, minimizar ou evitar os efeitos de perdas ou danos passíveis de ocorrer.

Para Souza (2015), a integração da logística humanitária à arquitetura traz um melhor planejamento na criação dos espaços internos e externos, aliando-o à resposta a situações de emergência desde a sua concepção. Em seguida, será apontada uma aplicação da logística humanitária frente a cenários de evacuação de pessoas em casos de emergência.

2.1 O PAPEL DA LOGÍSTICA HUMANITÁRIA NA EVACUAÇÃO SEGURA DE PESSOAS EM SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA

Na literatura é chamado evacuação o processo de deslocamento de uma área em risco, para uma área em maior segurança (SOUTHWORTH, 1991). Esse processo pode ser do tipo total ou parcial e as áreas seguras podem ser próximas ou distantes do local do desastre. Elas podem ter caráter temporário ou estar ativas por um tempo maior. O tipo de desastre e as circunstâncias em que se encontram os indivíduos evacuados é que determinam essas características. Além da atuação pós-desastre, é consenso, atualmente, que a logística humanitária deve operar na

preparação de procedimentos e recursos a fim de evitar desastres e deve estar prontamente apta a atuar perante as ameaças (SOUZA, 2015).

A evacuação é imperativa nas operações de alívio das pessoas atingidas, que podem ser/estar ou não capazes fisicamente, financeiramente ou emocionalmente durante a situação de desastre. Ochoa et al. (2017) estudam a simulação de movimentação de multidões para logística humanitária com o objetivo de analisar o comportamento dessas massas em diferentes situações, respeitando as diferenças culturais e físicas dos indivíduos. Este estudo defende o uso concomitante de softwares de logística humanitária com sistemas de rastreamento, para fornecer informações, em tempo real, para cadeia de suprimentos. Isso aumenta a resposta das operações de alívio e socorro, pois é possível tomar decisões aprimoradas com tais dados. Os autores defendem que a nova tecnologia pode contribuir para melhor configurar os espaços urbanos e conferir mais segurança a locais que reúnem grande número de pessoas nos casos de possíveis desastres.

Vê-se, a partir desse e outros estudos que, para promover a evacuação segura de pessoas em situações de emergência como incêndio, deve-se entender como o ser humano se comporta em situações normais e em situações de risco. Dentro do cenário de evacuação por incêndio, a percepção do risco “refere-se à percepção de uma ameaça iminente para a própria vida e saúde” (KINATEDER et al., 2015, p. 6). A percepção de risco (RP, do inglês *Risk Perception*) é estudada multidisciplinarmente, em disciplinas de engenharia de segurança, psicologia e sociologia, por exemplo.

Os locais de grande concentração de pessoas incluem galerias de arte, bibliotecas, arquibancadas, edifícios de exibição, igrejas, terminais de transporte, danceterias e teatros (ROBERTSON, 1989). Contudo, a multidão pode se formar em locais não preparados previamente para recebimento de um grande número de pessoas, ou preparados provisoriamente como, funerais, corridas de rua, aglomerados de fãs junto a celebridades, tendas de eventos, shows em áreas abertas e romarias.

Nos itens subsequentes são tratados o comportamento humano em situações de emergência e o estudo de tráfego de pedestres. De qualquer forma, é importante ressaltar que, para a evacuação em massa ocorrer de forma eficiente, deve haver coordenação, cooperação e colaboração entre as partes envolvidas. E, para o apoio de todas as etapas da logística humanitária, é preciso planejamento, implantação e esforço de recuperação (APTE, 2009).

2.2 COMPORTAMENTO HUMANO EM SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA

O ser humano tem a capacidade de se adaptar aos locais ou situações em que se encontra, desde que não esteja em situação de estresse. O comportamento adaptativo é citado por Valentin e Ono (2006), que o relacionam à capacidade de uma pessoa de abandonar determinado local em situação de emergência, adotando um comportamento normal. Da mesma forma, os autores se referem a um comportamento não adaptativo quando surgem fenômenos que contribuam para que a pessoa tenha um comportamento diferente do normal para realizar a evacuação. Para Coelho (2004, p.243 apud VALENTIN; ONO, 2006) este comportamento não adaptativo é definido “[...] pela prática de uma ou várias ações que contribuem para dificultar a evacuação do edifício e o próprio combate ao incêndio”.

Uma emergência é uma situação produzida por um desastre ou por um acontecimento ocorrido de forma inesperada. O termo é definido por Helbing e Johansson (2013, p. 6476) como sendo “o estabelecimento espontâneo de um comportamento qualitativamente novo através de interações não-lineares de muitos objetos ou assuntos”.

Nas situações de emergência em edifícios públicos é relevante definir o conceito de multidão. Segundo Souza (2015, p. 414), pode-se definir multidão como “[...] a presença de muitas pessoas no mesmo local com objetivos semelhantes e com densidade nas quais o espaço pessoal, o conforto, a disposição e a liberdade dos indivíduos são influenciados pelos que os rodeiam”. É considerado uma grande concentração de pessoas a partir de 4 pessoas/m², independente do tamanho do ambiente.

O ser humano é um ser social e a formação da multidão se dá, em sua maioria, em locais de eventos sociais. Esses locais de encontro podem ser: o entorno de uma praça, caracterizando uma multidão casual; um evento esportivo, caracterizando uma multidão convencional; ou no caso de multidões ativas, quando existe um forte objetivo que as impele para agirem de modo comum e até agressivo como, por exemplo, uma turba de linchadores ou indivíduos provocando atos de vandalismo (LE BON, 1986 apud SOUZA, 2015).

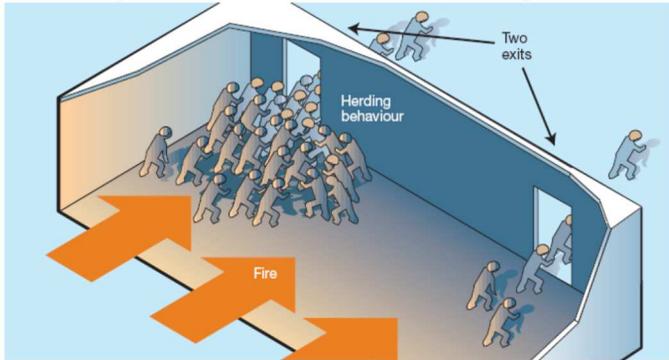
De modo individual, o ser humano pensa, age, crê e reage atendendo a sua personalidade. Em grupos, esses indivíduos passam a se comportar como um outro organismo, tendo uma única personalidade, agindo similarmente. Pode então surgir o “efeito rebanho”, ou *milling*, o qual, quando em perigo, pode levar essa multidão a debandar ou “estourar” induzida pelo pânico. Consequências como pisoteamento,

ferimentos, prejuízos materiais e até a morte são comuns de acontecerem em eventos que envolvem multidões (SOUZA, 2015).

Na dinâmica de evacuação, o pânico é definido pela “quebra da ordem e do comportamento cooperativo de indivíduos devido a uma reação ansiosa provocada por um certo evento” (HELBING; JOHANSSON, 2013, p. 6476, tradução nossa). Analogamente, Souza (2015, p. 422) caracteriza o pânico como uma reação psicológica em que uma ansiedade toma conta do indivíduo, que pode apresentar um comportamento de aceitação ao estímulo de desastre, levando, em último caso, a uma perda dos sentidos. “A reação psicológica causada no desastre ambiental pode fazer a capacidade adaptativa e a capacidade de resposta ao ambiente diminuírem em pouco tempo”.

Os estudos que lidam com as ocorrências de pânico causadas por situações de emergência (Teoria do Pânico) afirmam que, basicamente, as pessoas são tomadas de uma personalidade inconsciente, agindo de forma irracional, quando percebem a situação de perigo. Os indivíduos passam a se movimentar mais rápido e, estando nervosos, se empurram promovendo interações. Aglomeram-se junto a saídas e, assim, ocorre o fenômeno do arco, em que muitas pessoas tentam passar pela mesma saída, conforme ilustrado pela Figura 2. Como estão agindo irracionalmente, as demais saídas e caminhos não são lembrados. As mortes, consequências das aglomerações e da multidão sem controle, ocorrem, em sua maioria, por asfixia por compressão e não por pisoteamento: o tórax, sem poder se expandir, impossibilita a ocorrência da inspiração (SOUZA, 2015). Paralelamente, Helbing e Johansson (2013) observam nos indivíduos tomados pelo pânico, em situação de evacuação, uma tentativa de fuga, numa luta pela sobrevivência, além de pisoteamento ou esmagamento de pessoas em uma multidão.

Figura 2 - O comportamento de rebanho em situações de pânico em multidões.



Fonte: Shiwakoti, Sarvi e Rose (2008).

Valentin e Ono (2006), por sua vez, defendem que o estresse em uma situação de emergência raramente alcança o pânico em massa. O cenário em que saídas obstruídas ou pisoteamento ocorrem seria uma visão intensificada devido, principalmente, à mídia, que exibe imagens extremamente fortes.

Fahy, Proulx e Aiman (2009) evidenciam a anedota do pânico, como chamam em sua pesquisa a Teoria do Pânico, em situações de emergência, por meio da análise das entrevistas conduzidas por Brennan (1998), aos sobreviventes de severos incêndios ocorridos na Austrália. Nessas entrevistas percebeu-se que os entrevistados narravam o próprio comportamento em termos racionais e que o nomeavam como pânico. Porém, a análise das ações dos sobreviventes demonstra que eles não entraram em pânico (FAHY; PROULX; AIMA, 2009).

Há, no entanto, um grande número de estudos que corrobora a teoria de formação de pânico em multidões, como o de França, Marietto e Steinberger (2009), que caracteriza o pânico como um comportamento coletivo em que existe um sentimento urgente de ação; de Shiwakoti et al. (2011) e Sobhani et al. (2014), que utilizam animais, como formigas em pânico, em seus experimentos, notando um comportamento análogo ao humano em situações de emergência; e de Shiwakoti, Sarvi e Rose (2008), que realizaram uma investigação do atual estado da arte, sobre a simulação de comportamento humano em situações de emergência. Os autores apontam dificuldade em validar os modelos microscópicos devido à falta de dados complementares em situações de pânico dos indivíduos. Os modelos que tratam de interações entre indivíduos na engenharia de tráfego serão abordados mais adiante neste trabalho.

Em sua pesquisa, Helbing e Johansson (2013) enumeram as consequências típicas em dinâmica das multidões em densidades extremas:

1 - Em situações de escape em pânico os indivíduos ficam nervosos e passam a desenvolver ações cegas.

2 - As pessoas tendem a se mover consideravelmente mais rápido que o normal.

3 - Os indivíduos começam a empurrar e as interações entre as pessoas se tornam físicas.

4 - Mover-se e, em particular, passar por gargalos, se torna frequentemente difícil.

5 - Nas saídas, os engarrafamentos aumentam. Às vezes, fluxos intermitentes ou arqueamentos e entupimentos são observados, como na Figura 3, que registra o efeito do entupimento em um estádio de futebol, durante uma evacuação de torcedores em pânico.

6 - As interações físicas em multidões bloqueadas aumentam e podem causar pressões de até 4.500 N / m , que podem dobrar grades de isolamento de aço ou derrubar paredes de tijolos.

7 - A força e direção das forças que agem em grandes multidões podem, de repente, mudar, empurrando as pessoas de uma maneira incontrolável. Isso pode levar as pessoas a caírem.

8 - A fuga desacelera devido a pessoas caídas ou feridas que se transformam em "obstáculos".

9 - As pessoas tendem a demonstrar comportamento de rebanho, imitando a ação do outro.

10 - As saídas alternativas são muitas vezes ignoradas ou não são utilizadas de forma eficiente em situações de fuga.

Figura 3 - Efeito de entupimento em um estádio de futebol, durante uma evacuação de torcedores em pânico.



Fonte: Helbing e Johansson (2013).

Helbing et al. (2002) afirmam que, em simulações realizadas com velocidade desejada acima de $1,5 \text{ m/s}$, que caracteriza pessoas com pressa

encontraram-se irregularidades nos deslocamentos das pessoas com bloqueios por arcos nas saídas e movimentos semelhantes a avalanches quando esses arcos se quebram.

Cada indivíduo reage de forma distinta em situações adversas, nas circunstâncias em que sua integridade física está em perigo. Para Seito et al. (2008), em caso de incêndio, a tensão nervosa e o estresse são os comportamentos mais comuns, e não a reação de medo, fazendo fugir o controle racional, ou seja, gerando pânico. A paralisação dos sentidos faz as pessoas demorarem a reagir diante do incêndio.

Proulx (2002) discorre sobre a complexidade da tomada de decisão do ocupante em situação de incêndio, pois ela determina sua sobrevivência e, dentro de um tempo limitado, a decisão deve ser tomada rapidamente, diferindo radicalmente de uma situação cotidiana. Essa complexidade de decisões resulta no tempo de abandono do local. Este, segundo Valentin e Ono (2006), é composto dos seguintes tempos:

a) tempo de detecção do incêndio – pode ser curto quando as pessoas estão despertas no recinto em que iniciou o incêndio, ou longo se o incêndio ocorrer em sala distante da presença de pessoas e não houver sistema de detecção automática de incêndio. Neste caso, ao ser descoberto, o incêndio já terá se desenvolvido, gerado uma grande quantidade de fumaça ou gases tóxicos;

b) tempo de alarme – depende das ações realizadas pelas pessoas que tomam conhecimento do incêndio ou das características dos sistemas de detecção e alarme;

c) tempo de reconhecimento – mesmo soado o alarme, muitas pessoas querem se certificar do que está havendo antes de decidir a abandonar o local;

d) tempo de resposta: algumas pessoas ainda vão executar certas tarefas antes de iniciarem o abandono. Estas tarefas podem ser de caráter pessoal ou tarefas necessárias referentes a algum tipo de processo produtivo. A soma do tempo de reconhecimento e de resposta é denominada de tempo de pré-movimento;

e) tempo de caminhamento – é aquele efetivamente gasto no deslocamento da saída. Inúmeros fatores influem neste tempo, como o estado físico e mental das pessoas, a idade, entre outros. Este é o tempo que está relacionado às distâncias de caminhamento citadas nas normas e regulamentações.

Na equação de Claret e Etrusco (2002), o tempo de escape é representado pela equação:

$$Dt_{esc} = Dt_{det} + Dt_a + Dt_{pre} + Dt_e \quad (1)$$

Onde,

Dt_{esc} = tempo total do escape;

Dt_{det} = tempo do início da ignição à detecção;

Dt_a = tempo para acionamento do alarme;

Dt_{pre} = tempo do primeiro movimento em direção a saída (depende do comportamento humano);

Dt_e = tempo que a população gasta até a passagem através da saída (depende do comportamento humano).

Essa soma estabelece um perfil de escape da população, levando-se em conta algumas características comportamentais humanas, tais como:

a) capacidade da ocupação – deve-se ter a quantidade de pessoas por metro quadrado, suas características culturais e levar em conta todas as situações reais dessa ocupação, incluindo dias e horários de pico;

b) característica dos ocupantes – este item leva em conta o tipo da população que utiliza o espaço, sendo determinante para tempo de pré-movimento. Por exemplo, por norma, o tempo de pré-movimento em um escritório terá valor menor do que o de um hospital;

c) características do movimento – análogo ao movimento dos fluidos, essa característica leva em conta o movimento das pessoas em corredores e outros elementos de saída, produzindo uma camada-limite¹ (CLARET; ETRUSCO, 2002).

Para uma aplicação direta do tempo máximo de abandono, a definição de 2,5 minutos é a mais conhecida e tem base na evacuação bem-sucedida de um teatro em Edimburgo, na Escócia. Esse tempo foi denominado “tempo máximo de abandono sem gerar pânico” (ONO, 2010).

A partir desses conceitos e estudos acerca do comportamento humano em situações de emergência, pode-se apresentar alguns modelos

¹ Camada limite, ou *boundary layer*, teoria conceituada por Ludwig Prandtl é, em mecânica dos fluidos, definido pela camada de fluido (muito fina) nas imediações de uma superfície sólida limite, onde se dissipa a energia mecânica, devido a viscosidade (PASSOS, 2014). O conceito da região de contato entre um fluido incompressível em movimento relativamente a um sólido é utilizado analogamente no cálculo do tempo de escape.

que aplicam esses conhecimentos em simulações de evacuação em edificações.

2.3 O ESTUDO DE TRÁFEGO DE PEDESTRES

O fluxo de tráfego de pedestres é definido por “uma massa de pessoas que se desloca simultaneamente e indiretamente ao longo de uma rota mútua” (KHOLSHEVNIKOV; SAMOSHIN, 2008, p. 2). Neste conceito, segundo os autores, devem ser levados em conta fatores como diferentes tipos de movimento, estado psicológico e físico, diferentes tipos de rotas, entre outros.

As primeiras pesquisas científicas de tráfego de pedestres iniciaram na década de 1930, por meio de parâmetros de fluxos e, em seguida, passaram a ser realizados experimentos práticos de observação. Das observações visuais, passou-se a adotar a gravação por imagens e, conseqüentemente, deu-se o aperfeiçoamento dos estudos, com métodos de melhorias das filmagens que evitavam distorções por perspectivas, dentre outros. Obtiveram-se, assim, resultados mais objetivos e em maior número (KHOLSHEVNIKOV; SAMOSHIN, 2008). Helbing et al. (2002), por exemplo, fizeram observações por meio de gravações e puderam caracterizar uma regularidade no movimento de pedestres, em situações normais, quando observados em câmera-rápida ou *time-lapse*:

a) os pedestres têm grande aversão por desviar ou mover-se opostamente à direção de caminhada desejada. Eles escolhem caminhos mais rápidos e não necessariamente os mais curtos para o próximo destino, sendo que seu movimento pode ser representado por polígonos;

b) a velocidade individual corresponde à mais confortável, ou seja, com menor gasto de energia, enquanto as velocidades dentro de multidões, seguem uma distribuição gaussiana, ou normal, com um valor médio de aproximadamente 1,34 m/s e um desvio padrão de cerca de 0,26 m/s;

c) pedestres tendem a manter uma distância entre outras pessoas e fronteiras do caminho, como ruas, paredes e obstáculos. Essa distância diminui à medida que o pedestre tem pressa e com a maior densidade na multidão.

Kholshevnikov e Samoshin (2008), por sua vez, alertam que o uso incorreto de métodos de observação pode levar a resultados com porcentagem significativa de erros e que o uso incorreto da estatística pode levar a “milagres”.

Os cálculos utilizados em tráfego de veículos são também utilizados para o estudo em que o escopo é o deslocamento de pedestres.

Os modelos de comportamento coletivo são do tipo macroscópico, que avaliam as correntes de tráfego de pessoas e como se comportam; microscópico, que avaliam as interações entre indivíduos, ou seja, dois indivíduos dentro de um fluxo de pedestres; e a mesoscópica ou cinética, utilizada para analisar agrupamentos formados por pessoas em ruas, praças, terminais de transporte, ou em outro lugar que se deseja estudar. Dentre as vantagens e desvantagens de cada abordagem, pode-se citar: nos modelos macroscópicos podem-se aplicar modelos hidrodinâmicos que têm simplicidade computacional. Contudo, deve-se introduzir uma relação empírica entre a velocidade e a densidade, fugindo da precisão do fluxo real. No modelo microscópico é possível uma observação mais cuidadosa de cada pedestre, porém, isso demanda um grande esforço computacional. Já no modelo mesoscópico, a dificuldade da “equação íntegro-diferencial é a representação adequada do termo de interação presente nesta equação, tipo-Boltzmann, considerando a hipótese de continuidade na função distribuição” (VARGAS et al., 2012, p. 2).

A partir dos modelos analíticos e com a possibilidade de utilização da ferramenta computacional, desenvolveram-se novas abordagens para as reproduções dinâmicas do processo de evacuação e seu estudo (KHOLSHEVNIKOV; SAMOSHIN, 2008). No próximo item faz-se um apanhado dos simuladores computacionais utilizados no estudo de evacuação de pessoas.

2.4 SIMULADORES COMPUTACIONAIS DE EVACUAÇÃO DE PESSOAS EM SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA

Simuladores computacionais de evacuação são ferramentas amplamente utilizadas para avaliação da segurança das pessoas em um edifício ou locais de aglomeração. Conta-se com uma grande variedade de softwares de evacuação, podendo gerar certa confusão na decisão de qual modelo adotar em determinada tarefa (KULIGOWSKI; MILKE, 2004). Contudo, cada um possui características únicas e capacidades diversas de simulação.

Os experimentos práticos apresentam altos custos e dados experimentais podem ser difíceis de serem captados. Por esses motivos, as simulações computacionais de evacuação têm-se tornado populares (SHI; REN; CHEN, 2008). Além disso, Yang et al (2005) mencionam as preocupações éticas, e até mesmo legais, recorrentes da utilização de pessoas em experimentos de evacuação, em situação de pânico, devido aos riscos inerentes. A modelagem também é uma solução pela escassez

de dados reais de evacuação e de experimentos práticos precisos (LEIJONMARCK; OLERGÅRD, 2013).

Wagner (2008) relacionou alguns softwares de engenharia, desenvolvidos por meio de modelos matemáticos especiais, que possibilitam o estudo de saídas de emergência em edificações, mostrado no Quadro 1. Esses softwares possuem características específicas e trabalham com a filosofia da simulação através de informações das edificações obtidas de plantas de programa CAD (Computer-Aided Design) ou elementos geométricos. Destaca-se, entre eles, o *SIMULEX*, que realiza simulações em edifícios de grande proporção e geometria complexa, podendo ser utilizado nos casos de edificações de interesse de preservação que possuam essas características. Associado à análise do comportamento humano, faz com que os resultados da simulação de evacuação sejam mais corretos e conclusivos.

Quadro 1 - Softwares de simulação (continua).

SOFTWARE	PARÂMETRO ANALISADO	DESCRIÇÃO
SIMULEX	Comportament o Humano	Simulação de evacuação de edifícios de grande proporção e geometria complexa através de plantas produzidas em CAD.
EXIT 89	Comportament o Humano	Representação de grande número de ocupantes em edifícios altos através de elementos (arcos e nós) que representam a edificação.
CFAST 3.1	Desenvolvimen to do Incêndio	Determina as temperaturas atingidas, porcentagem de gases tóxicos liberados e altura da camada de fumaça em função do tempo.
CCFM	Desenvolvimen to do Incêndio	Simulação de incêndio em ambientes compartimentados. O programa fornece a altura da camada quente, temperatura inferior e superior da camada e concentração de oxigênio.
FDS	Desenvolvimen to do Incêndio	Simulação do incêndio em edificações com múltiplos compartimentos. O programa fornece a altura da camada quente, temperatura da camada, evolução das chamas, formação e movimentação da fumaça e a taxa de oxigênio do ambiente.

Fonte: Claret e Etrusco (2002); Ono e Vittorino (1998); Scherr e Baranoski (2007); adaptado por Wagner (2008).

Quadro 1 - Softwares de simulação (conclusão).

SOFTWARE	PARÂMETRO ANALISADO	DESCRIÇÃO
FIRST	Desenvolvimento do Incêndio	Simula o incêndio em compartimentos simples. Possui várias opções para simular a combustão de combustíveis com características bem diferentes, como madeira, óleo e plásticos.
ASCOS	Movimento de fumaça	Análise dos sistemas de controle de fumaça de edificações em situação de incêndio. O programa fornece a pressão e o fluxo de ar e de fumaça na edificação.
ASMET	Movimento de fumaça	Análise dos sistemas de gerenciamento e controle de fumaça para grandes espaços, tais como, átrios, halls de shopping, arenas esportivas, salões de exposições, etc.
BRIT 2	Movimento de fumaça	Programa de simulação do movimento de fumaça, produzido tanto por meios naturais como por meios mecânicos (pressurização e exaustão).

Fonte: Claret e Etrusco (2002); Ono e Vittorino (1998); Scherr e Baranoski (2007); adaptado por Wagner (2008).

A seguir, serão apresentados alguns softwares atuais utilizados em simulações de evacuação de emergência que estão associados ao comportamento humano frente a essas situações: *EXIT89*, *Simulex*, *CrowdSim* e *VHD++*.

2.4.1 *EXIT89 X Simulex*

Kuligowski e Milke (2004) realizaram um estudo comparativo entre dois softwares de simulação computacional de evacuação em edificações intitulado “*A performance-based design of a hotel building using two egress models: a comparison of the results*”. A escolha dos dois programas se deu a partir de uma pesquisa anterior dos autores, que resultou nos softwares *EXIT89* e *Simulex*. Tratam-se de softwares similares, que utilizam o comportamento humano de forma implícita na modelagem. A pesquisa objetiva apontar as possíveis diferenças na aplicação de dois simuladores em um mesmo objeto estudado, uma vez que comumente se utiliza apenas um simulador computacional em

análises baseadas em desempenho para evacuação de pessoas em casos de emergência.

O objeto de análise utilizado pelos autores é um hotel de vinte e um andares, hipotético, com 473 apartamentos e uma sala de conferências com 74 m² no primeiro andar. No modelo considera-se a sala de conferência vazia e 1.044 ocupantes presentes no momento da evacuação. Cada andar possui uma área variando entre 1.168 m² e 1.204 m². Para o estudo comparativo foi considerado que, uma vez que o ocupante sai do quarto e chega à porta da escada, ele é considerado “salvo”. Duas escadas, localizadas em cada lado da planta são as metas dos ocupantes. Para os cenários, foram utilizados os dados estatísticos de casos reais de incêndio tabulados da *National Fire Protection Association* (NFPA) e foi escolhido um cenário de alto risco, com o evento tendo início num quarto do quinto andar, às 3 horas da madrugada de inverno. Foi adotado como tempo de atraso (tempo que o ocupante leva antes de iniciar o movimento de saída) valores entre 0,5 min e 10 min, com média de 5 min. Dois outros cenários foram realizados, um incluindo 3 % de pessoas com deficiência e outro com 100 % de pessoas com deficiência, para comparação de resultados das simulações com movimentos mais lentos.

O programa *EXIT89* é descrito pelos autores como um modelo capaz de simular grandes populações que ocupam estruturas de grande altura. Ele se utiliza de uma série de nós (quartos, corredores e escadas) e arcos (distâncias entre nós), diferentemente do programa *Simulex*, versão 4.0, que não necessita de uma configuração nó/arco. Ao invés disso, utiliza uma rede de grade fina, dividindo a planta em blocos espaciais de 0,2 m x 0,2 m, onde acontece a identificação da movimentação do caminho percorrido pelo ocupante. Este é um modelo de evacuação que analisa o progresso de um grande número de pessoas em um grande edifício geometricamente complexo. Ele gera edifícios bidimensionais a partir de desenhos CAD para cada andar. Outras diferenças e características são apontadas pelos autores: o tamanho das pessoas e o decréscimo da velocidade de acordo com a densidade da população, no caso do *EXIT89*; e tipos de ocupantes: homens, mulheres, crianças, cada um com tamanhos de corpos diferentes, bem como diferentes velocidades, no caso do *Simulex*.

Foram realizadas as simulações de evacuação em caso de incêndio e uma análise das características da construção do hotel, identificando as possíveis diferenças nos tempos de saída durante as simulações. Quanto aos tempos de evacuação, as simulações no software *EXIT89* apresentaram tempos 25 % a 40 % mais baixos que no software *Simulex*. Na análise de delimitação, o *EXIT89* produziu tempos de evacuação

máximos 30 % a 40 % menores do que *Simulex*, principalmente devido à simulação de ocupantes com movimentos mais lentos. Além disso, o *Simulex* mostrou que oferece mais possibilidades de entrada de dados de característica dos ocupantes do que o *EXIT89*. Este software não tem a capacidade de simular a interação entre os ocupantes, fazendo com que os ocupantes mais lentos não interfiram nos tempos de evacuação dos demais ocupantes. Os pesquisadores aconselham a compreensão total da funcionalidade do simulador, a fim de avaliar se os algoritmos e os métodos de movimento são ou não realistas.

2.4.2 *CrowdSim*

Desenvolvido pelo Laboratório de Simulação de Humanos Virtuais (VHLab), na Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – PUCRS, o software *CrowdSim*, é uma ferramenta de simulação computacional de situações de aglomeração de pessoas em diversos ambientes, levando em conta as questões de conforto e segurança das pessoas envolvidas (CASSOL et al., 2012). Esse software é o primeiro desenvolvido no Brasil, custa aproximadamente dez vezes menos do que as ferramentas internacionais e realiza análises complexas que levam em consideração diferentes situações, como eventos de pânico e emergência, incluindo a análise de diversos tipos de ocupantes - como idosos, crianças e pessoas com dificuldade de locomoção e suas reações (FINEP, 2013).

Para utilização da ferramenta é necessário, primeiramente, representar em três dimensões a edificação que está sendo analisada. Essa representação deve conter sua real estrutura, sendo que as modalidades de acesso a ela devem ser representadas de maneira fidedigna. Na Figura 4 apresenta-se um exemplo de aplicação dessa ferramenta em um ambiente virtual com utilização de humanoides 3D. O programa realiza os cálculos de rota baseados em grafo². Define-se o grafo pela posição dos contextos no ambiente. Entre os elementos do contexto tem-se: entrada, caminhada, objetivo, bifurcação, etc. A distância entre dois contextos são arestas,

²A palavra “grafo” é um neologismo derivado da palavra *graph* em inglês. Um grafo é um par (V, A) em que V é um conjunto arbitrário e A é um subconjunto de V . Os elementos de V são chamados vértices e os de A são chamados arestas. Vértices, ou nós, são pontos importantes, intersecções de trechos de percursos, etc. Arestas, ou arcos, ou links, representam as ligações entre os nós. O grafo também é formado por uma medida de extensão do arco, podendo ser uma distância, ou tempo, etc., e as direções possíveis do fluxo. A Teoria dos Grafos estuda objetos combinatórios a partir dos grafos (NOVAES, 1989).

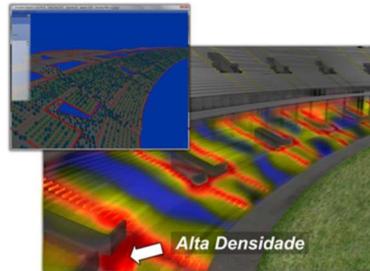
enquanto o ponto de ligação entre os contextos é considerado um nodo. Com os dados de saída do software é possível avaliar a densidade populacional ao longo do tempo para as diversas áreas do local estudado, o tempo total de evacuação, a trajetória percorrida pelos agentes (ocupantes) e os níveis de concentração, expressos no mapa de densidade ilustrado na Figura 5.

Figura 4 - Imagem do software *CrowdSim* com renderização de humanoides 3D.



Fonte: Cassol et al. (2012).

Figura 5 - Mapa de densidade apresentado pelo *CrowdSim*.



Fonte: Cassol et al. (2012).

A partir dessas análises tem-se a indicação de gargalos e pontos críticos, a fim de buscar soluções para prevenção e correção desses eventos indesejáveis (CASSOL et al., 2012).

Cassol et al. (2015) também aplicam a ferramenta em outro objeto, uma escola, desenvolvendo um *serious game*³. Os autores defendem a aplicação de *games* como uma ferramenta eficiente de educação e treinamento de pessoas, desenvolvendo inclusive um pensamento intrínseco de segurança.

Primeiramente, foi realizada a validação do software de acordo com manuais internacionais da *The International Maritime Organization of London* (IMO), a fim de verificar a confiança dos resultados produzidos. Após a validação, foi realizada a simulação em uma escola para verificar a escalabilidade, generalidade e adaptabilidade, prevendo esses pontos de atenção em um cenário real, para o caso da ocorrência de uma situação de emergência. A escola foi, então, produzida em ambiente 3D, composta de quatro prédios de salas de aula, alguns desses com até

³ *Serious game*, traduzindo jogo sério, é um software desenvolvido por meio dos princípios do design de jogo interativo, aplicado a um concurso mental jogado com o computador e tem o objetivo de transmitir um conteúdo educacional ou de treinamento ao usuário (ZYDA, 2005).

quatro pavimentos. Para o programa de simulação foram especificados: as áreas de movimento, como corredores e escadas, as regiões em que os agentes estão, como salas de aula e os objetivos, como portas de saídas. Foi definido, também, o número de agentes da população, de acordo com o número de alunos por sala de aula em um dia normal, sendo 1067 alunos pela manhã e 729 à tarde. Foram especificadas, para o programa, as rotas de saída para as portas principais que os alunos usam diariamente. Também foram identificadas portas adicionais que podem ser utilizadas em uma saída de emergência. Foram criados quatro cenários distintos: população da manhã e da tarde com apenas as saídas principais disponíveis e essas duas populações com todas as saídas disponíveis. Foi considerado o tempo de 5 s como tempo de resposta em todos os cenários, com velocidade de 0,8 m/s para todos os agentes.

Como resultado das simulações, foram verificados pontos de atenção no processo de saída, como exemplo de pontos de alta densidade. Após as análises originadas de uma preocupação da escola com o prédio em que estão localizadas as salas do jardim de infância, foi possível implementar uma nova regra dentro do *CrowdSim*: um novo atributo individual aos agentes chamado persistência à meta. Para o caso das crianças pequenas, que possuem comportamento diferente de adolescentes e adultos, os autores não encontraram literatura específica e validada sobre o seu comportamento. Para tanto, foi realizada uma representação empírica, onde as crianças buscam a meta por 4 s e vagam por 8 s. Este comportamento imputado resultou num aumento de 260 s para 325 s para a evacuação desse prédio em específico. Os resultados da simulação indicam que o software conseguiu atingir os objetivos iniciais, mesmo tendo um grande número de agentes simulados e com comportamentos distintos e rotas de fuga variadas. No entanto, os pesquisadores perceberam que, embora fosse possível verificar a segurança da escola quanto à evacuação em caso de emergência, o software não serviria para o treinamento dessas crianças e adolescentes. Por isso, foi implementado um *game* específico, também descrito por Cassol et al. (2015).

2.4.3 VHD++

Ulicny e Thalmann (2002) utilizam a reconstrução em três dimensões de locais antigos e complexos, somados a implementação de humanos virtuais com o maior realismo possível, incluindo aspectos visuais e acústicos desses patrimônios reconstruídos graficamente, como ilustrado na Figura 6 e 7. Os autores utilizam o software de simulação de

multidões chamado VHD++, que é um programa computacional em tempo real, sendo possível carregar essas informações para a realidade virtual, incluindo o comportamento de seres humanos virtuais e informações do local como o espaço em si, localização de portas, entre outros. Geram-se “sequências de quadros codificados de animação corporal em tempo real ou pré-gravadas, caminhando para uma localização particular usando o modelo de movimento ambulante ou tocando um som” (ULICNY; THALMANN 2002, p. 2, tradução nossa). Os autores simularam uma mesquita virtual durante a oração matutina com uma população de fiéis.

Figura 6 - A multidão entrando na mesquita de Sokullu.



Fonte: Ulicny e Thalmann (2002).

Figura 7 - A multidão rezando na mesquita.



Fonte: Ulicny e Thalmann (2002).

Foi utilizado o software de modelagem *Studio Max*. Nele pode-se observar um “sistema de comportamento de regras que permite a representação flexível de um cenário complexo de forma relativamente fácil de se adaptar a diferentes edifícios ou números diferentes de pessoas” (ULICNY; THALMANN 2002, p. 4, tradução nossa).

2.4.4 PTV *Viswalk*

PTV *Viswalk* é uma ferramenta de software que simula e modela o comportamento da caminhada humana, sendo que o fluxo de pedestres pode estar dentro ou fora de um prédio. A Figura 8 apresenta uma imagem desse programa simulando pessoas dentro de uma edificação. Foi desenvolvida pelo PTV *Planung Transport Verkehr* AG – PTV Group – em Karlsruhe, Alemanha, uma empresa privada. Os criadores a consideram uma ferramenta de fácil utilização, com resultados realistas, capaz de modelar qualquer número de pessoas, simular em 2D ou 3D (PTV GROUP, 2017). Ela utiliza as variáveis de comportamento humano,

tais como: evitar colisão com outros pedestres e evitar obstáculos, a partir de um estudo de pedestres em contra fluxo (Figura 9). A ferramenta está baseada em análise microscópica para simulação de pedestres e, dentre suas aplicações, encontra-se o plano de evacuação de edifícios e eventos especiais, no qual pode ser estudado: a segurança em locais públicos; a avaliação de medidas estruturais e organizacionais destinadas a reduzir e controlar o comportamento das pessoas em situações de emergência; os perigos potenciais e o planejamento de fluxos de pedestres em edifícios, estádios e outras instalações; a simulação de rotas de saída e cenários de evacuação em edifícios altos e túneis.

Figura 8 - Simulação de pedestres enfileirando-se.



Fonte: PTV Group (2017).

Figura 9 - Estudo de contra fluxo para pedestres.



Fonte: PTV Group (2017).

Henningsson e Martén (2014) avaliam o software PTV Viswalk para uso como modelo de evacuação de edifícios, verificando e validando o modelo. São testados: a capacidade do Viswalk de representar o tempo de pré-evacuação, movimento e navegação, uso de saída, disponibilidade de rota e restrições de fluxo. O modelo mostrou resultados correspondente aos esperados para todos os 10 testes de verificação que são realizados. Porém, taxas de fluxo não conservativas podem ser obtidas se as configurações de entrada padrão forem usadas. Na validação, os resultados foram comparados a quatro experimentos da vida real, incluindo um corredor, uma sala de aula, um saguão de teatro e uma escada, seguidos por uma análise de incerteza. Foram obtidos desvios, porém foi avaliado pelos autores que os resultados podem ser confiáveis se o usuário do software tiver uma boa estimativa da demografia dos ocupantes e estiver ciente das limitações do modelo.

Na análise da capacidade de simulações de cada programa computacional, pode-se perceber um recente avanço tecnológico nos simuladores computacionais. Com o uso desses softwares pode-se realizar um estudo seguro e de baixo custo nos edifícios propostos.

2.4.5 A escolha do software para o estudo

Dentre os softwares apresentados fez-se a avaliação de qual utilizar para a aplicação neste trabalho. Todos se mostraram adequados quanto ao gráfico avançado e à utilização de modelagens em três dimensões, o que possibilita uma avaliação mais ampla dos cenários a serem estudados. Inclusive, todos utilizam como parâmetro de caracterização dos ocupantes o comportamento humano, medida essencial na avaliação da evacuação de pessoas em situação de emergência.

Optou-se pela utilização do software *PTV Viswalk*, pois foi disponibilizada pelo grupo PTV, detentor dos direitos, uma licença acadêmica para a autora. A licença, até dezembro de 2018, viabiliza a utilização de todos os recursos do software e não apenas os oferecidos na versão *trial* cedida por trinta dias. O grupo também estende aos acadêmicos um suporte via site e e-mail, além de manuais, o que permite a troca de informações e possíveis dúvidas que surjam ao longo da pesquisa.

3 INCÊNDIO

O incêndio pode ser resumido como o fogo sem controle (ABNT, 1997). A formação do fogo era explicada pelo triângulo do fogo e, atualmente, é representada pelo tetraedro do fogo que, além dos elementos comburentes (ar), combustível e calor é acrescido do quarto e obrigatório elemento determinado pelos cientistas: a reação em cadeia (KLINOFF, 2003). A combustão ocorre quando a mistura de oxigênio e combustível atinge a temperatura de ignição. Essa forma de construção de como se dá o fogo sugere, ainda, a redução do risco do incêndio: a redução da carga combustível em um compartimento, a redução da probabilidade da fonte combustível vir a ser exposta a uma fonte de calor e a redução do teor de oxigênio no ambiente. O princípio de incêndio, sem a sua deflagração, ocorre quando alguns dos três elementos não se sustentam, ou seja, quando o calor de uma fonte piloto não é forte o suficiente para o processo de ignição, apagando-se por si só ou quando essa energia tem força para consumir o objeto onde iniciou o fogo, porém essa força é insuficiente para atingir outros objetos vizinhos e se extingue ali (GOUVEIA, 2006). Em sua pesquisa, o autor descreve o incêndio de três formas: por sua severidade, por meio da curva tempo-temperatura e por meio do modelo de duas camadas.

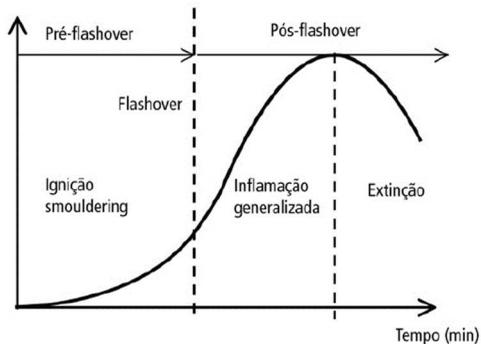
A severidade é uma medida de intensidade dos efeitos do incêndio. No entanto, ao não apresentar escala, tem avaliação essencialmente subjetiva. Há casos em que se associam a temperatura máxima atingida no incêndio com a sua severidade. Contudo, em locais históricos, mesmo se as temperaturas atingirem níveis relativamente baixos, apresentam-se efeitos muito severos, com possíveis danos a obras de arte, causados pelo fogo ou pela fumaça, que se mostram irreversíveis (GOUVEIA, 2006).

Na descrição do incêndio por meio da curva tempo-temperatura, o incêndio é compreendido pela curva “tempo pela temperatura”, ilustrada na Figura 10. Na fase inicial, ou de ignição, que ocorre após 2 a 5 minutos, a temperatura eleva-se de 20° a 250-350° C. Nela o incêndio atingiu um ou mais objetos, porém ainda não o compartimento todo. O volume de fumaça é elevado e a visibilidade muito reduzida, o que torna a sustentação da vida humana, nessa fase, muito ruim. Aqui, os detectores de incêndio e chuveiros automáticos devem atuar, além do emprego de extintores manuais de incêndio. O *flashover*⁴, ou ignição súbita

⁴ “Havendo combustível suficiente, o volume e a temperatura dos gases aumentarão com o tempo e caso não haja nenhum tipo de proteção contra

generalizada ou, ainda, inflamação generalizada, ocorre nesse ponto onde a temperatura encontra-se entre 250° a 350° e deflagra-se o incêndio generalizado. Neste momento, ocorre a rápida propagação do fogo, altas temperaturas e grande volume de fumaça. A densidade da carga de incêndio e o fator de ventilação irão determinar a duração dessa fase, que geralmente dura de 20 a 40 minutos ou até se consumir de 60 % a 80 % da carga combustível presente. A fase de extinção, com duração entre 1 a 3 horas é aquela em que, gradativamente, o ambiente é resfriado. É frequente que o incêndio tenha durações maiores que estas descritas. Isso ocorre devido à propagação do incêndio continuamente entre cômodos e compartimentos da mesma edificação ou de edificações vizinhas, em alguns casos. Um exemplo seria a propagação de incêndio pelo forro de madeira de uma edificação histórica. Ao ser consumido, o forro cai sobre o assoalho iniciando mais um consumo de material combustível no andar de baixo e assim por diante (GOUVEIA, 2006).

Figura 10 - Curva de desenvolvimento do incêndio.
 θ (°C)



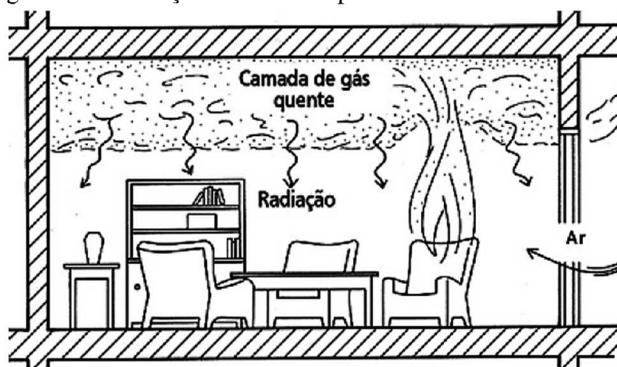
Fonte: Gouveia (2006).

O modelo de duas camadas é descrito, por Gouveia (2006), da seguinte forma: numa ignição em um objeto presente em um compartimento, a atmosfera divide-se em duas camadas gasosas, sendo a camada superior formada de gases com temperaturas mais altas e, a inferior, apresentando gases com temperaturas relativamente mais baixas. Os gases elevados, junto ao forro do ambiente, são compostos de oxigênio, dos gases produzidos na pirólise do material e partículas sólidas

incêndio atuando, a temperatura no compartimento poderá atingir níveis tais que ocorra a ignição simultânea de todos os materiais combustíveis presentes. Esta propagação abrupta é conhecida como *flashover*” (WAGNER, 2008, p. 63)

suspensas, formando a camada ou colchão de gases quentes. Essa camada aumenta e a temperatura se eleva ainda mais quando a alimentação é continuada. Aqui, a ocorrência do *flashover* se dará se uma porta for aberta ou um vidro se romper, ocorrendo uma rápida injeção de oxigênio no ambiente que se encontrava em quantidade bastante baixa devido ao seu consumo. Com a presença do oxigênio, a combustão instantânea do colchão de gases gera grande volume de chamas. A radiação intensa de calor atinge os demais objetos do ambiente e estes atingem a temperatura de ignição espontânea, acontecendo o incêndio generalizado. A análise do incêndio a partir dessa perspectiva é determinante para o estudo de evacuação segura de pessoas (GOUVEIA, 2006). A Figura 11 ilustra o modelo de duas camadas.

Figura 11 - Descrição do incêndio pelo modelo de duas camadas.



Fonte: Gouveia (2006).

Na sequência são discutidos conceitos relacionados aos fundamentos do fogo e do incêndio, bem como serão apresentadas as medidas de segurança para esse tipo de emergência.

3.1 FUNDAMENTOS DO FOGO E INCÊNDIO E AS MEDIDAS DE SEGURANÇA

Os produtos da combustão e, em consequência, do incêndio, são: calor, fumaça e chama. O ser humano é extremamente suscetível às altas temperaturas. Na zona de conforto térmico, sob o efeito do calor provocado pelas chamas e gases, o corpo tolera, no máximo por 1 hora, 65° C. Isso depende da umidade, da vestimenta e das condições físicas. Para uma temperatura de 100° C a tolerância cessa dentro de 25 minutos e, a 120° C, em 15 minutos. Acima de 180° C o calor acarreta danos

irreversíveis à pele exposta em apenas 30 segundos (EDGAN, 1978 apud MATTEDI, 2005).

A fumaça mistura gases, vapores e partículas sólidas suspensas. Pode ser percebida visualmente e pelo odor. Ela afeta seriamente as pessoas em situação de incêndio, tanto ocupantes para o abandono do local quanto para a equipe de combate, conforme afirmam Seito et al. (2008). A fumaça tira a visibilidade das rotas de fuga por provocar lacrimejamento, tosse e sufocação. Ela ocupa grande volume e de forma acelerada pode atingir vários ambientes. Devido ao gás carbônico, que reage rapidamente com a hemoglobina do sangue, afeta o sistema nervoso central provocando sintomas como mal-estar, distúrbios de funções motoras, perda de movimento e perturbações de comportamento (fobia, agressividade, pânico, coma, etc.). A escassez de oxigênio pode ocasionar a morte de células do cérebro e levar à lesão que causa parada respiratória e morte.

Quanto às mortes por incêndio, estima-se que somente a quarta parte delas decorrem de queimaduras, como apontam os resultados estatísticos em diversas pesquisas. As demais são por asfixia, devido à ingestão de monóxido de carbono, fumaça e gases tóxicos (ONO et al., 1998 apud MATTEDI, 2005).

Alguns fatores que contribuem para o início e para o desenvolvimento do incêndio, tornando o fenômeno único em cada ocorrência, são listados a seguir:

- a) forma geométrica e dimensões da sala ou local;
- b) superfície específica dos materiais combustíveis envolvidos;
- c) distribuição dos materiais combustíveis no local;
- d) quantidade de material combustível incorporado ou temporário;
- e) características de queima dos materiais envolvidos;
- f) local do início do incêndio no ambiente;
- g) condições climáticas (temperatura e umidade relativa);
- h) aberturas de ventilação do ambiente;
- i) aberturas entre ambientes para a propagação do incêndio;
- j) projeto arquitetônico do ambiente e ou edifício;
- k) medidas de prevenção de incêndio existentes;
- l) medidas de proteção contra incêndio instaladas (SEITO et al., 2008, p. 43 - 44).

As medidas de segurança contra incêndio visam o controle do incêndio, ou seja, deve-se controlar os riscos de início do incêndio, sua propagação e suas consequências (LUCENA, 2014). O risco pode ser definido como consequência de eventos indesejáveis somado a probabilidade de sua ocorrência (SEITO et al., 2008). A probabilidade é estritamente definida por uma formulação matemática rigorosa, enquanto que o risco tem uma caracterização intuitiva (SERPA, 2009). Mitidieri e Ioshimoto (1998) separam em cinco as categorias básicas de riscos associados ao incêndio: a) risco de início de incêndio; b) risco do crescimento do incêndio; c) risco da propagação do incêndio; d) risco à vida humana; e) risco à propriedade. O nível de segurança de um edifício está ligado diretamente ao controle de cada uma das categorias de risco.

O *International Council for Research and Innovation in Building and Construction* – CIB (2001) lista os objetivos que devem ser atingidos para a segurança contra incêndio. Esses objetivos devem estar muito claros desde a fase de projeto e as estratégias para alcançá-los devem ser equilibradas quando se trata de construções mais econômicas. Os objetivos são: proteger a saúde e a vida dos ocupantes da edificação e dos combatentes ao fogo; proteger a estrutura e o conteúdo da edificação, as edificações vizinhas e as atividades da edificação; proteger o meio ambiente; proteger os bens culturais e históricos e a infraestrutura.

No Quadro 2, apresentado por Vargas e Silva (2003), são listados os fatores da edificação, tanto os arquitetônicos quanto aqueles relacionados aos sistemas de segurança contra incêndio e suas influências sobre a severidade do incêndio, a segurança à vida humana e a segurança ao patrimônio. Destaca-se o fator rotas de fuga seguras, que os autores atribuem exclusivamente à influência na segurança à vida dos ocupantes. Contudo, ao afirmarem que a rota de fuga é natural em edificações térreas, percebe-se uma generalização das situações, visto que, em edificações históricas, muitas vezes as rotas de fuga se mostram complexas e/ou estreitas, dificultando a saída segura das pessoas em caso de emergência.

Quadro 2 - Fatores das edificações e suas influências (continua).

FATORES	INFLUÊNCIA NA		
	SEVERIDADE DO INCÊNDIO	SEGURANÇA NA VIDA	SEGURANÇA DO PATRIMÔNIO
Tipo, quantidade e distribuição da carga de incêndio	A temperatura máxima de um incêndio depende da quantidade, tipo e distribuição do material combustível no edifício.	O nível do esfumaçamento, toxicidade e calor dependem da quantidade, tipo e distribuição do material combustível no edifício.	O conteúdo do edifício é consideravelmente afetado por incêndios de grandes proporções.
Características da ventilação do compartimento	Em geral, o aumento da oxigenação faz aumentar a temperatura do incêndio e diminuir sua duração.	A ventilação mantém as rotas de fuga livres de níveis perigosos de esfumaçamento e toxicidade.	A ventilação facilita a atividade de combate ao incêndio por escape da fumaça e dissipação dos gases quentes.
Compartimentação	Quanto mais isolantes forem os elementos de compartimentação (pisos e paredes), menor será a propagação do fogo para outros ambientes, mas o incêndio será mais severo no compartimento.	A compartimentação limita a propagação do fogo, facilitando a desocupação da área em chamas para áreas adjacentes. Pode dificultar a movimentação humana.	A compartimentação limita a propagação do fogo, restringindo as perdas.
Resistência ao fogo das estruturas	A resistência ao fogo das estruturas de aço, por elas serem incombustíveis, não afeta a severidade do incêndio. Às vezes, o desmoronamento de parte da edificação (coberturas, por exemplo) aumenta a oxigenação e reduz a duração do incêndio.	A resistência ao fogo das estruturas tem pequeno efeito na segurança à vida em edifícios de pequena altura ou área, por serem de fácil desocupação. No caso de edifícios altos, é essencial prever a resistência ao fogo, indicada na legislação ou em normas, para garantir a segurança ao escape dos ocupantes, às operações de combate e à vizinhança.	A resistência ao fogo dos elementos estruturais é fundamental para garantir sua estabilidade. Geralmente, o custo do conteúdo supera o custo da estrutura, mas o colapso estrutural pode trazer consequências danosas às operações de combate ou à vizinhança. Nesse caso há imposições legais ou normativas de resistência. Se o risco for mínimo, a verificação de resistência pode ser dispensada.
Rotas de fuga seguras		Rotas de fuga bem sinalizadas, desobstruídas e seguras são essenciais para garantir a desocupação. Em edificações térreas, a rota de fuga é natural. Em edifícios de muitos andares podem ser necessárias escadas enclausuradas, elevadores de emergência, etc.	

Fonte: Vargas e Silva (2003).

Quadro 2 – Fatores das edificações e suas influências (conclusão).

FATORES	INFLUÊNCIA NA		
	SEVERIDADE DO INCÊNDIO	SEGURANÇA NA VIDA	SEGURANÇA DO PATRIMÔNIO
Reserva de água	Água e disponibilidade de pontos de suprimento são necessárias para a extinção do incêndio, diminuindo os riscos de propagação e seus efeitos à vida e ao patrimônio.		
Deteção de calor ou fumaça	A rápida deteção do incêndio, apoiada na eficiência da brigada contra incêndio e do Corpo de Bombeiros, reduz o risco da propagação do incêndio.	A rápida deteção do início do incêndio, por meio de alarme, dá aos ocupantes rápido aviso da ameaça, antecipando a desocupação.	A rápida deteção do início de um incêndio minimiza o risco de propagação, reduzindo a região afetada pelo incêndio.
Chuveiros automáticos	Projeto adequado e manutenção de sistema de chuveiros internacionalmente reconhecidos como um dos principais fatores de redução do risco de incêndio.	Chuveiros automáticos limitam a propagação do incêndio e reduzem a geração de fumaça e gases tóxicos.	Chuveiros automáticos reduzem o risco de incêndio e seu efeito na perda patrimonial.
Hidrantes e extintores	Hidrantes, extintores e treinamento dos usuários da edificação reduzem o risco de propagação do incêndio e seu efeito ao patrimônio e à vida humana.		
Brigada contra incêndio	A presença de pessoas treinadas para prevenção e combate reduz o risco de início e propagação do incêndio.	Além de reduzir o risco de incêndio, a brigada coordena e agiliza a desocupação da edificação.	A presença da brigada contra incêndio reduz o risco e as consequentes perdas patrimoniais.
Corpo de Bombeiros	Proximidade, acessibilidade e recursos do Corpo de Bombeiros otimizam o combate ao incêndio, reduzindo seu risco de propagação.	Em grandes incêndios, o risco à vida é maior nos primeiros instantes. Deve haver medidas de proteção independentes da presença do Corpo de Bombeiros.	Proximidade, acessibilidade e recursos do Corpo de Bombeiros facilitam as operações de combate ao incêndio, reduzindo perdas estruturais e do conteúdo.
Projeto de segurança contra incêndio	Deve prever sistema de segurança adequado ao porte e à ocupação da edificação, de forma a reduzir o risco de início e propagação do incêndio, facilitar a desocupação e as operações de combate. Dessa forma, reduz a severidade do incêndio, as perdas de vidas e patrimoniais.		

Fonte: Vargas e Silva (2003).

Trabalhar com cenários de incêndio é uma forma de antever, por meio de projeto, como o incêndio irá se desenvolver e propagar, até os danos que ele pode causar à edificação. Estudos dessa natureza incluem a interação entre o incêndio e os ocupantes e entre o meio ambiente e os sistemas de segurança contra incêndio.

Por isso, além de caracterizar a edificação (que influencia a desocupação dos ocupantes e o desenvolvimento do incêndio) e caracterizar o incêndio (desde a sua ignição, desenvolvimento e extinção), também é relevante caracterizar os ocupantes. Esta caracterização deve descrever a capacidade de resposta e escape dos ocupantes durante uma situação de emergência (MATTEDI, 2005), assuntos que serão abordados no item a seguir.

3.2 ELEMENTOS DA EVACUAÇÃO DE PESSOAS

Para promover a evacuação segura de pessoas, os elementos projetuais e humanos devem ser considerados concomitantemente.

3.2.1 Elementos de projeto

As saídas de emergência são constituídas por escadas, rampas, passarelas e elevadores de emergência, elementos que devem ser trabalhados na fase de criação do conceito arquitetônico. São condições exigíveis à edificação, a fim de que seus usuários possam abandoná-las, bem como possibilitar o fácil acesso de equipe de resgate e socorro (CBMSC, 1994).

As saídas de emergência fazem parte das medidas de proteção passivas dos meios de escapes das edificações e, por isso, devem ser pensadas na etapa de projeto e serem dotadas de materiais resistentes ao fogo (POLLUM, 2016). Devem possibilitar a saída dos ocupantes, utilizando rotas de fuga seguras, livres dos efeitos do fogo e suas consequências: calor, fumaça e gases (SILVA, 2003). Devem, nos casos de sinistro, atender a todos os ocupantes daquele local, seja no edifício ou em seu entorno, compreendendo rotas de fuga, escadas de emergência, áreas de refúgio, elevadores de emergência protegidos do fogo e gases, e devem contar com alimentação de energia independente (SEITO et al., 2008). Da mesma forma, Souza (2015) conclui que devem existir rotas, passagens e portas suficientemente largas e em quantidade suficiente, para que, em caso de uma emergência, a saída dos ocupantes seja rápida e segura e, conseqüentemente, de maneira calma.

Outra medida de proteção passiva é a compartimentação. Ela consiste em dividir a edificação em células com resistência à propagação do fogo. Esse confinamento faz com que os gases e fumaças se restrinjam a determinadas áreas da edificação, o que contribui ao abandono seguro dos ocupantes e ao combate ao fogo, que pode acontecer em etapas, aumentando o tempo de escape disponível. A definição brasileira é encontrada nos instrumentos normativos, como na ABNT NBR 14432:2001 “Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento”. Essa norma define compartimento como “Edificação ou parte dela, compreendendo um ou mais cômodos, espaços ou pavimentos, construídos para evitar a propagação do incêndio de dentro para fora de seus limites, incluindo a propagação entre edifícios adjacentes, quando aplicável” (ABNT, 2001, p. 2).

A ABNT NBR 13860:1997 “Glossário de termos relacionados com a segurança contra incêndio” distingue a compartimentação horizontal, “subdivisão de pavimento em duas ou mais unidades autônomas, executada por meio de paredes e portas resistentes ao fogo, objetivando dificultar a propagação do fogo e facilitar a retirada de pessoas e bens” (ABNT, 1997) e vertical, “conjunto de medidas de proteção contra incêndio que tem por finalidade evitar a propagação de fogo, fumaça ou gases de um pavimento para outro, interna ou externamente” (ABNT, 1997, p. 4). Para Cunha (2016) as normas brasileiras trazem caráter genérico à medida protetiva e não determinam valores.

A compartimentação é feita por elementos com resistência ao fogo: paredes e portas corta-fogo. Para ser resistente ao fogo, o material deve manter as suas características de integridade, estabilidade, estanqueidade e isolamento térmico por um período normatizado quando exposto a elevadas temperaturas. Um elemento construtivo estanque é aquele que mantém a capacidade de impedir rachaduras e aberturas pelas quais possam atravessar chamas e gases que iniciem uma ignição num chumaço de algodão (NBR 14432: 2001). O isolamento caracteriza um elemento construtivo que, alvo de um incêndio, consegue manter sua outra face a temperaturas de 140° C na média da leitura dos pontos e 180° C em qualquer ponto.

As rotas de fuga devem conduzir para saídas de emergência seguras e adequadas para todos os ocupantes previstos na edificação ou área. Os materiais que constituem as edificações, como revestimentos e os que formam os sistemas construtivos e os materiais que são trazidos para o interior dessas edificações são fortes contribuintes para os eventos de incêndio. Nos ensaios simuladores de incêndio esses materiais

recebem classificações quanto a sua resistência a diferentes tipos de exposição frente às diversas fases do incêndio, ou seja, a diversas temperaturas e intensidades (MITIDIERI; IOSHIMOTO, 1998). A reação do fogo nos materiais da edificação, principalmente os de revestimento, é decisiva sobre o tempo disponível para a evacuação segura dos ocupantes. “A velocidade de propagação das chamas, o volume e a densidade ótica da fumaça gerada e da razão de liberação de calor do incêndio” são os parâmetros insustentáveis para a permanência em um ambiente (CLARET; ETRUSCO, 2002, p. 258).

3.2.2 Elementos humanos

A preparação e o pré-posicionamento antes da ocorrência de desastres, sejam eles naturais ou produzidos pelo homem, é fundamental na resposta aos eventos, principalmente no alívio do sofrimento humano (NAPPI, 2016). Para Claret e Etrusco (2002) o treinamento para escape em situações de início do incêndio é um dos parâmetros indispensáveis a tornar o indivíduo mais ou menos suscetível aos efeitos do incêndio. Além disso, Souza (2015) afirma ser indispensável a instrução prévia das pessoas sobre as rotas e saídas que terão que utilizar no caso de uma emergência, a fim de promover uma evacuação calma e segura.

Além de equipamentos instalados e com manutenção em dia, na segurança contra incêndio é imperativo que haja pessoal treinado para operacionalizar esses equipamentos de forma correta e rápida. O combate a incêndio existe desde que o homem viu a necessidade de controlar o fogo. Nas brigadas constituídas nas edificações, os funcionários desses locais são treinados para essa finalidade. São três os grupos de brigadas: de incêndio (voltada para a extinção dos focos de incêndio nas edificações); de abandono (os funcionários são treinados para realizar a retirada da população da edificação); e de emergência (além de combater os princípios de incêndio e orientar o abandono do local são responsáveis por sinistros e riscos) (SEITO et al., 2008).

A principal finalidade do Corpo de Bombeiros é a defesa da integridade física (SEITO et al., 2008). Para isso, atua desde a legislação, aplicando normativas voltadas a segurança contra incêndio e pânico, até a regularização de edificações novas e existentes, aplicando a legislação vigente. Além disso, atua na disseminação da prevenção através de treinamentos da população e combate a incêndios e outras emergências.

O Corpo de Bombeiros Militar é uma instituição pública, com administração direta do Estado que atua como prestadora de serviços

públicos na área da segurança pública. A constituição do Estado de Santa Catarina estabelece essa função como:

Art. 108. O Corpo de Bombeiros Militar, órgão permanente, força auxiliar, reserva do Exército, organizado com base na hierarquia e disciplina, subordinado ao Governador do Estado, cabe, nos limites de sua competência, além de outras atribuições estabelecidas em Lei:

I – realizar os serviços de prevenção de sinistros ou catástrofes, de combate a incêndio e de busca e salvamento de pessoas e bens e o atendimento pré-hospitalar;

II – estabelecer normas relativas à segurança das pessoas e de seus bens contra incêndio, catástrofe ou produtos perigosos;

III – analisar, previamente, os projetos de segurança contra incêndio em edificações, contra sinistros em áreas de risco e de armazenagem, manipulação e transporte de produtos perigosos, acompanhar e fiscalizar sua execução, e impor sanções administrativas estabelecidas em Lei;

IV – realizar perícias de incêndio e de áreas sinistradas no limite de sua competência;

V – colaborar com os órgãos da defesa civil;

VI – exercer a polícia judiciária militar, nos termos de lei federal;

VII – estabelecer a prevenção balneária por salva-vidas; e

VIII – prevenir acidentes e incêndios na orla marítima e fluvial. (SANTA CATARINA, 1989).

Considerações especiais devem ser feitas em relação às medidas de proteção contra incêndio em edifícios históricos. No entanto, antes de iniciar uma abordagem específica sobre esse tema, faz-se necessário explanar alguns conceitos e definições relacionados a este tipo de edificação, conforme será apresentado no próximo Capítulo.

4 PATRIMÔNIO HISTÓRICO E SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO

Neste capítulo expõem-se os principais conceitos e definições relacionados com patrimônio histórico edificado e, em seguida, aborda-se a segurança contra incêndio nesse tipo de edificação.

4.1 EDIFÍCIOS E CENTROS HISTÓRICOS

A noção de monumento histórico compreende a criação arquitetônica isolada, bem como o sítio urbano ou rural que dá testemunho de uma civilização particular, de uma evolução significativa ou de um acontecimento histórico. Trata-se das grandes concepções estendendo-se às obras mais simples, aquelas que sua significação cultural tenha sido agregada com o passar do tempo (CARTA DE VENEZA, 1964). Os monumentos simbolizam e eternizam o legado das sociedades passadas, constrói as referências pessoas ou mesmo aquilo que não foi alcançado (MONUMENTA, 2005).

O patrimônio arquitetônico dá testemunho da presença da história e de sua importância à memória. É um capital espiritual, cultural, econômico e social cujos valores são insubstituíveis. Fazem parte deste, monumentos, cidades antigas, povoações tradicionais “em seu ambiente natural ou construído” (MANIFESTO DE AMSTERDÃ, 1975, p. 2).

De acordo com a Constituição Brasileira em vigor:

Art. 216. Constituem patrimônio cultural brasileiro os bens de natureza material e imaterial, tomados individualmente ou em conjunto, portadores de referência à identidade, à ação, à memória dos diferentes grupos formadores da sociedade brasileira, nos quais se incluem: [...] IV – as obras, objetos, documentos, edificações e demais espaços destinados às manifestações artístico-culturais; V – os conjuntos urbanos e sítios de valor histórico, paisagístico, artístico, arqueológico, paleontológico, ecológico e científico (BRASIL, 1988).

A expressão patrimônio histórico pode ser definida, de acordo com Choay (2006), como um bem destinado ao usufruto de uma comunidade. Suas dimensões não são mais locais e sim universais. É resultado de uma soma acumulada e contínua de objetos agrupados em um passado

semelhante. São as obras e obras-primas das belas-artes e das artes aplicadas, trabalhos e produtos de todos os saberes e ‘*savoir-faire*’ dos seres humanos” (CHOAY, 2006, p. 11).

Um edifício histórico é aquele que proporciona aos seres humanos uma sensação de admiração fazendo que se procure saber mais sobre as pessoas e a cultura que o produziu. Ele pode ter valores arquitetônicos, estéticos, históricos, documentais, arqueológicos, econômicos, sociais, políticos e espirituais e/ou simbólicos. Mas o primeiro impacto é sempre emocional, pois é um símbolo de uma identidade cultural e de continuidade, como parte da herança de um povo (NAPPI, 2002).

O termo patrimônio cultural pode ser entendido como:

O conjunto de bens de interesse para a memória do Brasil e de suas correntes culturais formadoras, abrangendo os patrimônios: arquitetônico, artístico, bibliográfico, científico, histórico, museológico, paisagístico, entre outros. Dentro deste contexto, engloba as representações, as expressões, os conhecimentos, as técnicas e também os instrumentos, os objetos, os artefatos e os lugares que a eles estão associados; as comunidades, os grupos e, em alguns casos, indivíduos que se reconhecem como parte integrante de seu patrimônio cultural, e está associado a construção e a acumulação de bens e à sua permanência, no tempo e no espaço, portanto, à História e à sua continuidade e trajetória. São os testemunhos da história e da cultura, produzidos pelos grupos sociais, que permitem conhecer o modo de vida de pessoas que viveram em outras épocas e lugares, em situações diferentes das nossas. Tudo isto nos conscientiza de que fazemos parte de um todo maior, que continua nos dias de hoje e se estenderá para o futuro (BARBOSA; FINOTTI; SOUZA, 2008 apud BARBOSA et al. 2011).

Os centros históricos ou os sítios históricos urbanos nacionais, como identifica o Monumenta (2005), são locais em que se situam experiências coletivas e princípios de identidade. Devem ser estudados como locais que representam e se conectam ao processo histórico de formação da nacionalidade. Por reunirem enorme valor patrimonial,

histórico e arquitetônico, cultural e afetivo, devem ser objeto de valorização e preservação (RODRIGUES, 2010).

Cada país ou região tem sua maneira de identificar as áreas históricas urbanas. Contudo, nota-se uma similaridade de conceitos, sendo esses locais formados por edificações com algum interesse histórico-cultural, sendo este determinado pelo seu estilo arquitetônico, os materiais que o constituem ou pela história que representa aos moradores. Observa-se que, dentro dessas áreas, podem existir construções recentes (LUCENA, 2014).

4.2 DA PRESERVAÇÃO

Tombamento é uma palavra antiga que se referia aos documentos importantes que eram guardados e conservados na Torre do Tombo, em Portugal. Atualmente, significa um ato administrativo realizado pelo Poder Público, com o objetivo de preservar, por intermédio da aplicação de legislação específica, bens de valor histórico, cultural, arquitetônico, ambiental e também de valor afetivo para a população, impedindo que venham a ser destruídos ou descaracterizados, culminando com o registro em livros especiais denominados Livros de Tombo (FCC, 2010).

O termo conservação é definido na Carta de Burra (1980) como todos os cuidados a serem dispensados a um bem para preservar as suas características que apresentem importância cultural. A conservação implicará na preservação, na restauração e na manutenção da edificação, dependendo das circunstâncias. Poderá compreender obras mínimas de reconstrução ou adaptação, dependendo das exigências práticas que devem ser atendidas.

Conservação preventiva é o conjunto de medidas que se deve tomar para prevenir o aparecimento de danos em uma edificação evitando trabalhos radicais de restauração (KLÜPPEL; SANTANA, 2005). A manutenção designa a contínua proteção do conteúdo e do entorno de um bem e não deve ser confundida com reparação, que é a restauração e reconstrução deste bem (CARTA DE BURRA, 1980).

A reconstrução é o restabelecimento, com o máximo de exatidão, de um estado anterior conhecido, distinguindo-se pela introdução de substâncias existentes de materiais diferentes, sejam estes novos ou antigos. Contudo, esta não deve ser confundida com a recriação nem com a reconstituição hipotética, ambas excluídas do domínio regulamentado pelas orientações presentes na Carta de Burra (1980).

Restauração é qualquer intervenção que tem por objetivo conservar os valores estéticos e históricos do monumento e fundamenta-se no

respeito ao material original e aos documentos autênticos (CARTA DE VENEZA, 1964). Na Carta de Burra (1980), restauração é definida como o restabelecimento da substância de um bem em um estado anterior conhecido.

A Carta do Restauro (1972) caracteriza a reversibilidade em obras de restauração como toda intervenção na obra, ou mesmo na área a ela contígua, devendo ser executada de modo tal, e com tais técnicas e materiais, que possa ficar assegurado que, no futuro, não tornará impossível uma nova e eventual intervenção de salvaguarda ou de restauração.

Aspecto indispensável na arte da restauração é o trabalho interdisciplinar da equipe que o realiza. A conservação e a restauração dos monumentos constituem uma disciplina que apela à colaboração de todas as ciências e de todas as técnicas que possam contribuir para o estudo e para a salvaguarda do patrimônio monumental (CARTA DE VENEZA, 1964).

A história, a arquitetura, a engenharia, a geologia, a tecnologia, a conservação e restauração e a química, entre muitos outros saberes, servidos ainda de levantamentos sistemáticos das estratigrafias de parâmetros, das técnicas atuais e dos materiais de construção, vêm contemplar os trabalhos de restauração e revitalização (SILVA; POLETI, 2006).

Em sua pesquisa, Serpa (2009) traz a preservação do patrimônio histórico edificado contra incêndio como mais uma abordagem de conservação, visto que a segurança da edificação faz perpetuar o bem às próximas gerações. A autora também ressalta que o planejamento da prevenção de risco deve estar aliado à preservação histórica, garantindo, assim, os valores culturais do bem.

4.3 MEDIDAS DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO EM EDIFÍCIO HISTÓRICOS

A segurança contra incêndio pode ser definida como “uma série de medidas e recursos internos e externos à edificação, bem como as possíveis áreas de risco adjacentes, as quais viabilizam o controle de um incêndio” (SERPA, 2009). A segurança contra incêndio, no Brasil, tem sido repensada, com mais atenção, devido a grandes sinistros ocorridos nas últimas décadas, sendo inegáveis as consequências que os incêndios causam à sociedade: perdas sociais, econômicas e humanas.

Serpa (2009) define um edifício seguro contra incêndio como aquele em que, quando em situação de incêndio, possibilita que todos os

ocupantes tenham a sua salvaguarda garantida, sem ferimentos e que, os danos que por ventura ocorrerem ao imóvel, não ultrapassem o local em que o fogo teve início.

Berto (1991 apud MITIDIERI; IOSHIMOTO, 1998) define as medidas de prevenção e proteção contra incêndio: “precaução contra o início do incêndio; limitação do crescimento do incêndio; extinção inicial do incêndio; limitação da propagação do incêndio; evacuação segura do edifício; precaução contra a propagação do incêndio entre edifícios; precaução contra o colapso estrutural; rapidez, eficiência e segurança das operações relativas ao combate e resgate” (BERTO, 1991 apud MITIDIERI; IOSHIMOTO, 1998, p. 5).

Apesar de existirem vastos trabalhos na área, deve-se continuar estudando, pesquisando, planejando e introduzindo os resultados desses trabalhos nas regulamentações. Vale ressaltar que o risco ao incêndio aumentou em função da crescente instalação de equipamentos de serviços, como por exemplo, aparelhos de ar condicionado, centrais de gás, centrais de telefonia e alarme, que antes não haviam nas edificações (MITIDIERI; IOSHIMOTO, 1998). Instalações essas que também se fazem necessárias em edifícios históricos. É desejável à conservação do monumento destiná-lo a uma função útil à sociedade e para essa modernização das instalações concebem-se as modificações exigidas pela evolução dos usos e costumes (CARTA DE VENEZA, 1964).

Uma abordagem atual de conservação do patrimônio histórico consiste na observação das condições ambientais, mensurando as tendências, os impactos e os riscos às estruturas físicas como prevenção de riscos (ARAÚJO; SOUZA; GOUVÊIA, 2005). Dentre as definições relacionadas às medidas de proteção contra incêndio citadas por Seito et al. (2008), destacam-se aquelas que podem ser aplicadas a edifícios históricos, onde a intervenção no patrimônio edificado deve ser mínima:

Prevenção: medidas que visam “evitar” o incêndio, trabalhando o controle de materiais combustíveis quanto ao armazenamento e quantidade das fontes de calor por solda, eletricidade, cigarros e do treinamento de pessoas voltadas a prevenção.

Proteção: medidas com a finalidade de dificultar a propagação do incêndio. Proteções passivas são elementos da edificação como paredes e portas corta-fogo. Proteções ativas são aquelas acionadas em casos de incêndio como sistema de ventilação (tiragem) de fumaça e sistemas de chuveiros automáticos.

Combate: abrange todos os elementos de extinção de incêndio como hidrantes e extintores e o devido manuseio por pessoas treinadas,

sistema de detecção e alarmes, sistemas automáticos de extinção do incêndio, corpo de bombeiros, hidrantes públicos, entre outros.

Meios de escape: uma série de elementos que proporciona o escape seguro das pessoas, além de normalmente ser acesso da equipe de resposta à edificação. Inclui desde medidas passivas, como escadas seguras e paredes corta-fogo, passando por medidas ativas, quando do uso de sistemas pressurizados de escadas. Envolvem as medidas de combate com os sistemas de detecção, alarme e iluminação de emergência e, quando necessário, intervenção de equipes treinadas para realizar o abandono, principalmente em se tratando de locais de reunião de público.

Gerenciamento: medidas administrativas de manutenção dos sistemas e administração das respostas ao incêndio. São de responsabilidade de moradores, administradores e responsáveis pelo local, podendo ser o Poder Público ou o privado. Inclui treinamentos, plano e procedimento de emergência, manutenção de equipamentos de combate, entre outros.

O instrumento de padronização de medidas de proteção contra incêndio, adotado por organizações e Poder Público, são os códigos de segurança. A seguir são abordados os atuais códigos de segurança contra incêndio.

4.4 CÓDIGOS DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO

O objetivo das regulamentações de segurança contra incêndio é definir condições mínimas de segurança às edificações, desde seu projeto, até a sua implantação e uso. Essas regulamentações são estabelecidas pelo Poder Público e devem obrigatoriamente ser atendidas em todos os locais e atividades. Devem atender interesses da Administração Pública, dos consumidores e dos empresários, contendo diretrizes de fácil entendimento e, de forma prática, nortear e sustentar a normalização. Esta sim, deve possuir detalhes técnicos relativos ao projeto, construção ou fabricação, instalação, funcionamento, uso, manutenção e avaliação dos dispositivos utilizados na garantia da segurança contra incêndio, bem como das instalações de serviço e equipamentos (MITIDIERI; IOSHIMOTO, 1998).

A normalização brasileira de segurança contra incêndio teve seu maior desenvolvimento na década de 1990, sem grandes investimentos das esferas pública e privada. Seu produto principal são as especificações de materiais, os sistemas de proteção, prescrições para treinamento e combate a incêndios (MATTEDI, 2005).

Os códigos de segurança prescritivos contra incêndio foram criados frente a grandes desastres ocorridos no país e foram baseados nas falhas e aprendizados ocorridos (SILVA, 2003). Essas regulamentações determinam o que deve ser observado e como as exigências devem ser atendidas, tendo muitas vezes um caráter de padronização de soluções (MATTEDI, 2005).

Já os códigos baseados em desempenho baseiam-se no desempenho de todos os agentes envolvidos numa possível situação de incêndio, sendo estes: a edificação, o desenvolvimento do incêndio e o comportamento dos ocupantes (SILVA, 2003).

As soluções prescritivas, apesar de não oferecerem flexibilidade na viabilização de soluções, continuam sendo utilizadas em determinadas soluções de projeto e continuarão sendo utilizadas em todo o mundo. Contudo, as soluções baseadas em desempenho otimizam soluções de segurança e vêm, com a evolução da engenharia de incêndio, aplicar-se em edifícios ou situações mais complexas, onde se exige o desenvolvimento de estratégias de segurança inovadoras (MATTEDI, 2005).

Nas Tabelas 1 e 2 apresentam-se as adaptações feitas por Silva (2003), a partir de Hadjisophocleous e Benichou (1999), das vantagens e desvantagens de se aplicar cada um dos códigos. O autor mostra, assim, algumas vantagens de se utilizar critérios de desempenho a fim de trazer flexibilidade e soluções arquitetônicas inovadoras. Mostra, também, que as desvantagens desse sistema incluem a necessidade de qualificação do corpo técnico de acordo com os critérios de desempenho e a dificuldade de análise e avaliação desses critérios.

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens dos códigos prescritivos.

CÓDIGOS PRESCRITIVOS	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> - Análise direta, ou seja, avaliação direta do cumprimento dos requisitos estabelecidos. - Não necessita de engenheiros com qualificação mais específica. 	<ul style="list-style-type: none"> - Recomendações específicas sem que a intenção seja declarada. - A estrutura de códigos existentes é complexa. - Não é possível promover projetos mais seguros e a um custo menor. - Pouco flexíveis quanto a inovação. - É assumida uma única maneira de assegurar a segurança contra incêndios.

Fonte: Silva (2003).

Tabela 2 - Vantagens e desvantagens dos códigos baseados em desempenho.

CÓDIGOS BASEADOS EM DESEMPENHO	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> - Estabelecimento de objetivos de segurança claramente definidos, ficando a critério dos engenheiros a metodologia para atingi-los. - Flexibilidade para a introdução de soluções inovadoras, as quais venham a atender aos critérios de desempenho. - Harmonização com normas e códigos internacionais. - Possibilidade de projetos mais seguros e com custo menor. - Introdução de novas tecnologias no mercado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Dificuldade em definir critérios quantitativos, isto é, critérios de desempenho. - Necessidade de treinamento, especialmente nos primeiros estágios de implementação. - Dificuldade para análise e avaliação. - Dificuldade de validação das metodologias usadas na quantificação.

Fonte: Silva (2003).

As atuais normas de segurança contra incêndio são analisadas por Cunha (2016) e mostradas na Tabela 3. Essas normas são aplicadas ao projeto arquitetônico, porém demonstram ênfase às propriedades físicas dos materiais, sem necessariamente buscarem soluções compatíveis com os aspectos estéticos e funcionais da edificação. Segundo o autor, faltam estudos na área de arquitetura para que as soluções de segurança contra incêndio venham do projeto, sendo este mais flexível às necessidades de proteção (CUNHA, 2016).

Tabela 3 - Caracterização das principais normas vigentes.

NORMA	TÍTULO	ENFOQUE
ABNT NBR 5627:1980	Exigências particulares das obras de concreto armado e protendido em relação à resistência ao fogo – Procedimento	Estrutura
ABNT NBR 9077:2001	Saídas de emergência em edifícios	Dimensionamento de rodas de fuga
ABNT NBR 9441:1998	Execução de sistemas de detecção e alarme	Instalações prediais
ABNT NBR 9442:1986	Materiais de construção - Determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante - método de ensaio	Propriedade dos materiais
ABNT NBR 10636:1989	Paredes e divisórias sem função estrutural - determinação da resistência ao fogo – método de ensaio	Propriedade dos materiais
ABNT NBR 10897:2004	Proteção contra incêndio por chuveiro automático - Procedimento	Instalações prediais
ABNT NBR 10898:1999	Sistema de iluminação de emergência	Instalações prediais
ABNT NBR 11742:2003	Porta corta-fogo para saídas de emergência - Especificações	Propriedade dos materiais
ABNT NBR 11785:1992	Barra antipânico – Especificações	Propriedade dos materiais
ABNT NBR 12693:1993	Sistemas de proteção por extintores de incêndio	Equipamentos
ABNT NBR 13434-2:2004	Sinalização de segurança contra incêndio e pânico	Comunicação Visual
ABNT NBR 13714:2000	Sistemas de hidrantes e de mangotinhos para combate a incêndio	Instalações prediais
ABNT NBR 13860:1997	Glossário de termos relacionados com a segurança contra incêndio	Definições
ABNT NBR 14100:1998	Proteção contra incêndio – Símbolos gráficos para projeto	Comunicação visual
ABNT NBR 14432:2001	Exigência de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimentos	Propriedade dos materiais

Fonte: Cunha (2016).

O autor afirma que a preocupação com a segurança contra incêndio no projeto arquitetônico contemporâneo nacional recai sobre a aplicação das normas e regulamentações. Ao analisar as principais normas apresentadas na Tabela 3, Cunha (2016) mostra que elas revelam ênfase sobre as propriedades físicas dos materiais, deixando os aspectos estéticos e funcionais da edificação sem soluções compatíveis.

Por considerar-se que os códigos de segurança contra incêndio baseados em desempenho são os mais adequados para a segurança contra incêndio em edificações históricas, devido a sua flexibilidade e ao seu caráter inovador, consistindo em busca de soluções alternativas no estabelecimento de níveis adequados de proteção, na sequência serão discutidos seus principais aspectos com maior profundidade.

4.4.1 Códigos de segurança contra incêndio baseados em desempenho

Becker (1999, p. 525) estabelece que “o conceito de desempenho implica uma estrutura racional de projeto e construção, mas ao mesmo tempo flexível para absorver inovações e mudanças”. Quando a aplicação se dá de forma sistemática, segundo a autora, o conceito de desempenho abrange amplamente a cadeia construtiva, sendo implementado na análise e avaliação do comportamento estrutural e dos sistemas mecânicos, de incêndios, hidráulico-térmico, acústico, de iluminação, qualidade do ar, acessibilidade e sustentabilidade das edificações. Também são beneficiadas questões de durabilidade da edificação como expectativa de vida, manutenção, não contribuição com risco de incêndio e segurança na facilidade de fuga e tempo de evacuação, em casos de incêndio dentro de seus espaços.

Os códigos de desempenho (*performance-based code* – PBC) são regulamentações baseadas no conceito de desempenho e encontram-se implementados em vários países como, por exemplo, Estados Unidos, Austrália e Reino Unido. Sabe-se, no entanto, que esses processos de implementação variam de acordo com as características e evolução histórica de cada país. Eles derivam dos eventos acometidos a cada povo e, também, variam de acordo com a capacidade de investimento em pesquisas científicas correlatas e de capacitação técnica e treinamento (MATTEDI, 2005).

Alguns códigos de segurança em vigor são internacionais e foram desenvolvidos a partir da década de 1990. No Reino Unido, a *British Standards Institute* criou o DD240 - *Fire Safety Engineering in Buildings*. Na Austrália, o *Building Code of Australia* - BCA, após décadas de uma

filosofia prescritiva, foi desenvolvido e implementado em 1994. Juntamente a ele, foi criado um manual, o *Fire Engineering Guidelines*, em 1997, trazendo alternativas ao projeto. Neste país, o governo é responsável pela aprovação dos projetos, enquanto organizações privadas, semelhantes a estadunidense *National Fire Protection Association* (NFPA), são responsáveis pelo desenvolvimento das normas específicas. No Canadá utiliza-se uma variação do sistema baseado em desempenho, sendo a *National Fire Code* a norma específica voltada para incêndio. Na Suécia é adotada, desde 1994, a *National Board of Housing Building and Planning*, BBR94. Nos Estados Unidos, a organização *International Code Council* (ICC), criada em 1994 a partir da união de três organizações privadas existentes, teve o intuito de produzir uma única norma englobando as áreas de instalações mecânica, incêndio e construção. A outra organização desse país é a NFPA, citada anteriormente. Tanto ICC quanto a NFPA vem desenvolvendo normas de desempenho. A NFPA incorporou opções de desempenho dentro da NFPA 5000 e a ICC publicou a *ICC Performance Code for Buildings and Facilities*, em 2003. Na Nova Zelândia, desde o final da década de 1980, vem sendo desenvolvida a legislação baseada em desempenho. Em 1992, foi criada a *New Zealand Building Code* – NZBC e, em 1994, o *Fire Engineering Design Guide*, que fornece diretrizes de projeto de segurança contra incêndio, desde procedimentos de projeto e comportamento do incêndio, até modelagem computacional e rotas de fuga, com a finalidade de atender os aspectos de desempenho da NZBC (MATTEDI, 2005). Além desses, a *International Organization for Standardization* (ISO) e a *American Society for Testing and Materials* (ASTM) vêm publicando diretrizes em forma de manuais para elaboração de códigos e normas baseadas em desempenho. E o Eurocode, desenvolvido pelos europeus, é voltado ao projeto estrutural (BECKER, 1999).

O comportamento de um elemento, ou de um conjunto deles, como o desempenho potencial de uma edificação inteira, pode ser estimado e avaliado com modelos matemáticos, modelos físicos, testes ou protótipos, além de poder ser realizado no processo de projeto (MATTEDI, 2005).

4.4.2 Análise de risco de incêndio em sítios e edifícios históricos

A avaliação de risco de incêndio visa estudar as várias causas do início e deflagração de um incêndio, levando-se em conta o comportamento das pessoas, das estruturas e dos resultados que as medidas de proteção proporcionam. Existem vários métodos de análise que podem ser aplicados em construções correntes ou de grandes

dimensões, como hospitais, escolas, indústrias, entre outros. Para a avaliação em edificações e áreas históricas foi desenvolvido, por Gouveia (2006), o método de análise global de risco.

O método de análise global de risco é baseado no método de Gretener⁵, que abrange toda a complexidade do sistema edificação x usuário x incêndio, e possibilita estimar o risco de incêndio em conjuntos históricos, bem como em edificações isoladas. Para essa análise deve ser realizado um levantamento específico de dados que pode ser feito na forma de observação direta. Simulações são aplicadas para analisar diversos cenários de incêndio, a fim de determinar as medidas ativas e passivas necessárias para a redução do risco de incêndio a um máximo aceitável.

O risco máximo aceitável é o maior valor aceito para edificações e áreas históricas naquele momento. É o limite estipulado que irá nortear o projeto de segurança contra incêndio. Gouveia (2006) destaca que, em sítios históricos, o risco máximo aceitável deveria ser determinado por um conselho de preservação, estipulando valores sucessivamente menores, devido à importância notória desses sítios.

Os cenários de incêndio são “definidos por um conjunto de parâmetros que influem decisivamente sobre a severidade do incêndio em uma dada edificação ou um dado conjunto de edificações, tanto agravando-a quanto reduzindo-a” (GOUVEIA, 2006, p. 25). Esses parâmetros são constituídos dos seguintes elementos:

- a) a geometria, ocupação e localização do compartimento;
- b) a determinação do objeto ou conjunto de objetos mais prováveis de iniciar um incêndio (início da ignição);
- c) um conjunto de medidas inibidoras do desenvolvimento e propagação do incêndio;
- d) um conjunto de fatores que possibilitam o desenvolvimento e propagação do incêndio;
- e) a possibilidade de propagação do incêndio;
- f) o possível comportamento dos usuários.

Os parâmetros facilitadores do incêndio são nomeados como parâmetros de risco, enquanto os que dificultam o incêndio são nomeados como medidas de segurança. Para o cálculo da exposição ao risco de

⁵ O Método de Gretener, de 1965, é considerado um método de balanceamento e devido a sua simplicidade de aplicação foi difundido mundialmente. É feito um equilíbrio entre as medidas facilitadoras e inibidoras para se estabelecer um coeficiente de segurança contra incêndios (SERPA, 2009).

incêndio (*E*), atribui-se pesos aos fatores que favorecem o desenvolvimento e a propagação de um incêndio, sendo agrupados em:

a) carga de incêndio: a densidade da carga de incêndio e a sua posição (altura) em relação ao nível de descarga;

b) compartimento: onde a edificação se encontra em relação à unidade do corpo de bombeiros mais próxima, condições de acesso à edificação e ao perigo do incêndio ser generalizado e a possibilidade de propagação do incêndio aos imóveis vizinhos;

c) política de preservação: ou seja, qual o conjunto de proteção (municipal, estadual, federal, mundial) que o imóvel ou área está envolta (SERPA, 2009).

Análoga à exposição ao risco, à segurança contra incêndio (*S*) são atribuídos pesos às medidas que irão balancear o risco do incêndio. As medidas são divididas em:

a) medidas sinalizadoras do incêndio: alarmes e detectores que alertam os ocupantes da edificação e a equipe de resgate sobre o início do evento;

b) medidas extintivas: aparelhos extintores, sistema extintor fixo de gases, sistema interno e externo de chuveiros automáticos e brigadas de incêndio.

c) medidas de infraestrutura: sistemas de hidrantes e reservas de água que possibilitam o combate ao incêndio e estão presentes nas edificações e entorno;

d) medidas estruturais: vão desde elementos de proteção passiva à adoção de materiais estruturais adequados resistentes ao fogo;

e) medidas políticas: iniciativas que orientam os usuários e profissionais quanto a correta ação de mitigar a severidade do incêndio (SERPA, 2009).

As classes de risco de ativação do incêndio (*A*), são divididas em:

a) riscos decorrentes da atividade humana;

b) riscos decorrentes das instalações;

c) riscos devido aos fenômenos naturais.

Esses riscos podem dar-se em um compartimento, em um conjunto de compartimentos, ou em um conjunto de edificações.

De tal modo, calcula-se o risco de incêndio (*R*) por meio do produto da exposição ao risco de incêndio (*E*) e dos riscos de ativação (*A*).

A legislação de segurança contra incêndio não é clara. Conforme Mattedi (2005), as normas de proteção contra incêndios são conflitantes, contraditórias e muitas se sobrepõem em relação aos Instrumentos Normativos do Corpo de Bombeiros. Analogamente, Valentin e Ono

(2006) concluem que as normas não adotam terminologia única, tem-se exigências diferentes para o mesmo edifício e os critérios de adaptação e dimensionamento de rotas de fuga são divergentes. Os autores chegaram a essa conclusão após a análise de quatro normas que regulamentam a segurança contra incêndio dentro do Estado de São Paulo⁶. Nesse sentido, Pollum (2016) cita a inexistência de regulamentação de âmbito nacional e Rodrigues (2016) defende uma regulamentação nacional para dirimir as divergências de regularização das edificações.

4.4.3 Legislação brasileira atual de segurança contra incêndio em edifícios históricos

O patrimônio edificado possui características especiais, fazendo com que uma simples intervenção deva ser alvo de discussão e munida de um projeto específico de restauro. Sua aprovação deve ser feita nos órgãos de fiscalização, de acordo com a esfera de tombamento deste imóvel: federal, estadual ou municipal.

Atualmente, o patrimônio edificado não possui uma legislação / regulamentação de segurança contra incêndio com abrangência nacional. As normas brasileiras da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), referências técnicas com vigência nacional, também não possuem especificidades para edifícios tombados. Somado a isso, tem-se a falta de manutenção, de fiscalização e de recursos, principalmente nas edificações pertencentes a entidades públicas. Ono (2004) afirma que, no caso desses imóveis, somente a fiscalização dos órgãos de segurança contra incêndio não é suficiente para a proteção do bem quanto a um possível incêndio. Seria necessária uma integração entre os órgãos envolvidos no projeto, na execução, na fiscalização e na manutenção da segurança contra incêndio desses edifícios históricos e/ou que abrigam patrimônio histórico-cultural.

Para a proteção de edificações históricas contra incêndio, os profissionais utilizam, principalmente, as normas americanas NFPA 909 – *Protection of cultural resources* (2001) e NFPA 914 – *Fire Protection in Historic Structures*. Essas normas são usadas para projetos novos, para o desenvolvimento de regulamentações e normas locais. Elas destacam a

⁶ Código de Obras e Edificações do Município de São Paulo - COE (São Paulo, 1992), da norma brasileira ABNT-NBR 9077/1993: Saídas de Emergência em Edifícios (ABNT, 1993), Norma Regulamentadora NR-23: Proteção contra Incêndios (Brasil, 1978) e o Decreto Estadual 46.076/2001e suas respectivas instruções técnicas.

criação e implementação de planos de emergência; critérios mínimos para o estabelecimento de um programa de prevenção contra incêndio (destacados aqui os cuidados com as intervenções em edifícios culturais, devido à ocorrência de grande número de incêndios durante obras, quando o sistema de proteção está mais vulnerável); medidas de segurança para novas construções e reformas de edificações existentes, manutenção preventiva e corretiva e particularidades dos diferentes usos de edificações históricas ou que abrigam acervos histórico-culturais (ONO, 2004).

Pollum (2016) elenca os estados brasileiros que possuem uma legislação de proteção contra incêndio voltada especificamente a edificações históricas ou que abrigam acervos culturais. O Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo, por exemplo, possui a Instrução Técnica nº 40/2011 – Edificações históricas, museus e instituições culturais com acervos museológicos. Esta norma tem como referência algumas normas técnicas da ABNT, de instalações elétricas, acessibilidade e incêndio, além de normas internacionais (NFPA). Inclui plano de emergência, brigada de incêndio, sistema de gases limpos, incluindo compartimentos onde não é admissível a utilização de água no combate a incêndio e compartimentação. A norma veta, nessas edificações históricas, o armazenamento e comercialização de líquidos inflamáveis e combustíveis em seu interior, bem como a comercialização de fogos de artifício; prescreve armários metálicos no caso de produtos específicos para restauro que venham a ser armazenados nessas edificações; aceita instalação de emergência ligada à rede de água existente, no caso de impossibilidade estrutural dos edifícios para reserva de incêndio; recomenda ao interessado pelo imóvel a instalação de hidrante urbano; prescreve que museus ou instituições culturais com acervo devam ter cópia das chaves para entrada fácil agilização do acesso a bens protegidos, incluindo plano de emergência e quadro com relação de brigadistas e responsáveis pelo acervo.

O Corpo de Bombeiros do Paraná, no ano de 2012, criou a Norma de Procedimento Técnico – NPT 040 – Edificações históricas, museus e instituições culturais com acervos museológicos. Esta Norma tem por objetivo “Estabelecer requisitos complementares de segurança contra incêndio, peculiares às edificações históricas e de interesse do patrimônio histórico-cultural, bem como àquelas que abrigam bens culturais e/ou artísticos” (CBMP, 2012, p. 1). A norma é baseada na IT nº 40/2011 do Estado de SP, incluindo as normas a que esta faz menção, bem como os procedimentos e prescrições.

Similarmente ao Estado do Paraná, que segue o modelo da IT nº 40/2011 do Estado de SP em todo seu conteúdo, encontram-se a legislação dos Corpos de Bombeiro Militar dos estados de: Mato Grosso do Sul, Goiás e Rondônia, que criaram a Norma técnica nº 40/2013, a Norma Técnica – NT nº 27/2014 e a Instrução Técnica nº 27/2017, respectivamente.

O Corpo de Bombeiros do Estado do Rio Grande do Sul estabelece, por sua vez, a Resolução Técnica – RT nº 05 – parte 07/2014 – Processo de segurança contra incêndio: edificações existentes, históricas e tombadas. Essa Resolução estabelece “os critérios para apresentação do Plano de Prevenção e Proteção Contra Incêndio das edificações e áreas de risco de incêndio existentes, históricas e tombadas” (CBMRS, 2014, p.1). Tem como referência a própria legislação estadual de segurança contra incêndio. Possui algumas definições sobre edificações tombadas e estabelece procedimentos para essas edificações e as que comporem a área de risco de incêndio, diferenciando aquelas com área menor ou igual a 750 m² e altura inferior ou igual a 12 m. Também prevê não obrigatoriedades para o caso de impossibilidade de adequação a acessos, escadas, rampas e descargas, fazendo-se necessário apenas a desobstrução e sinalização desses meios de escape e a compatibilização da lotação máxima com as saídas de emergência.

As normas técnicas do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro estão em processo de atualização, encontrando-se em fase de consulta pública. Se definidas como estão hoje, o estado também contará com uma norma referente ao acesso de viaturas em edificações, a exemplo das instruções técnicas semelhantes nos estados de Minas Gerais, São Paulo e Paraná. Nesta norma de acesso a viaturas, principia-se a adoção de *fire lanes*, que são faixas destinadas ao estacionamento e operação de viaturas de incêndio e salvamento. Ela estabelece “os critérios para apresentação do Plano de Prevenção e Proteção Contra Incêndio das edificações e áreas de risco de incêndio existentes, históricas e tombadas” (CBMERJ, 2017, p. 3, não publicado).

Nesse contexto, destaca-se a Instrução Técnica – nº 35 (Edição 2017) – Segurança contra incêndio em edificações que compõem o patrimônio cultural, do Corpo de Bombeiros do Estado de Minas Gerais que objetiva “estabelecer as medidas de segurança contra incêndio e pânico, visando atender as condições mínimas aceitáveis para proteção das edificações que compõem o patrimônio cultural protegido no Estado de Minas Gerais” (CBMMG, 2017a, p. 2). A origem desta IT é da pesquisa do professor Antonio Maria Claret de Gouveia, pela

Universidade Federal de Ouro Preto, referente ao método de análise de risco de incêndio em sítios históricos.

A atual versão desta instrução técnica é bastante ampla. Abrange, além das construções únicas e conjuntos tombados, edificações vizinhas a uma edificação tombada, ou seja, toda edificação em que o efeito gerado por um incêndio possa atingir o patrimônio tombado. Baseia-se na Constituição Brasileira, nas leis e decretos nacionais e estaduais referentes à preservação do patrimônio cultural. Entre as normas internacionais de referência estão os guias *Guidelines* nº 01 a 30 da *The Confederation of Fire Protection Associations Europe* (CFPA – Europe⁷) e as normas NFPA 909 – *Protection of cultural resources* (2001) e NFPA 914: *Fire Protection in Historic Structures*. As duas últimas já citadas por Ono (2004) como referência no Brasil. Também são utilizadas, para compor essa IT, normas nacionais e referências bibliográficas como Cartas Patrimoniais e o próprio estudo de Gouveia (2006), publicado em Caderno Técnico do Instituto de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN).

A Instrução Técnica – nº 35 (Edição 2017) expande as definições de conceitos e princípios de preservação do patrimônio cultural para um código de segurança contra incêndio e pânico, antes tratados apenas nas cartas patrimoniais, na ciência da preservação ou em legislações do Poder Público específicas de restauro. Desta forma, a IT coloca em prática a interdisciplinaridade imprescindível ao tema. Ressalta que trata das diretrizes de preservação que interferem, interagem ou alteram ações necessárias à garantia da prevenção e segurança contra incêndio em edificações protegidas. Também indica que devem ser garantidas:

a) a manutenção de condições ambientais para a sustentabilidade da vida humana por um tempo suficiente para a fuga dos seus ocupantes e a realização das operações de salvamento e combate a incêndio em condições de segurança;

b) a ausência do colapso estrutural de partes determinadas da edificação;

c) a extensão admissível de danos à edificação e ao seu conteúdo, bem como às edificações adjacentes e à infraestrutura pública (CBMMG, 2017a).

⁷ *The Confederation of Fire Protection Associations Europe* (CFPA-Europe) é uma associação de organizações nacionais na Europa preocupada principalmente com prevenção e proteção contra incêndios e também salvamento, segurança e outros riscos associados. Publica boletins e recomendações em nível europeu.

A IT define as medidas de segurança contra incêndio e pânico mínimas exigidas. Caso não seja possível o atendimento dessas medidas, o responsável técnico poderá avaliar o risco global de incêndio e o fator de segurança da edificação. Essa avaliação tem o intuito de verificar se as medidas projetadas ou as características da edificação atingem o coeficiente de segurança mínimo aceitável, conforme método de avaliação do risco de incêndio das medidas de segurança contra incêndio e pânico que consta no anexo B da IT nº 35 (CBMMG, 2017a).

A normativa possibilita a utilização de métodos computacionais avançados, baseados em desempenho, para embasar decisões na adoção de alternativas às atuais medidas de segurança contra incêndio e pânico. Especialmente na impossibilidade técnica ou inviabilidade de executar as normas. Além disso, abre a possibilidade de utilização de software de evacuação virtual, com o objetivo de estimar o tempo de saída em diferentes situações e propor rotas de evacuação adicionais.

A Instrução Técnica – 35 estabelece o dimensionamento para as medidas de segurança:

- a) saídas de emergência;
- b) largura das saídas de emergência para um código de segurança contra incêndio e pânico (escada, rampas e corredores);
- c) acessos;
- d) número de saídas nos pavimentos e descargas;
- e) portas nas rotas de fuga;
- f) corrimão e guarda-corpo;
- g) escadas/rampas;
- h) iluminação de emergência;
- i) sinalização de emergência;
- j) brigada de incêndio;
- k) plano de intervenção: um plano de evacuação tanto dos ocupantes da edificação, quanto para a remoção do acervo, proteção do acervo sem possibilidade de remoção e priorização da ordem de remoção deste acervo;
- l) sistemas de hidrantes internos e externos;
- m) sistema de detecção e alarme de incêndio;
- n) sistema de proteção por extintores de incêndio;
- o) sistema de proteção por chuveiros automáticos;
- p) sistema fixo de gases para combate a incêndio: empregado nos casos em que a utilização de água no combate ao incêndio causa danos à edificação ou ao acervo;
- q) controle de fumaça.

No anexo B, da Instrução Técnica – 35 consta a metodologia de avaliação do risco de incêndio das medidas de segurança contra incêndio e pânico baseada no método de análise de risco de incêndio em sítios históricos.

Excetuando-se os estados citados, que possuem uma legislação de segurança contra incêndio específica para o patrimônio cultural, os demais estados da Federação enquadram edificação histórica no grupo de edificações especiais ou de construções anteriores à legislação vigente, deixando o patrimônio sem o devido cuidado e atenção nas questões de implementação e manutenção do combate a incêndio. Atualmente, o estado de Santa Catarina também não apresenta a normativa específica, apenas a instrução normativa IN nº 5/2015 – Edificações existentes, que propõe algumas medidas. Contudo, muitas edificações históricas não se enquadram nessa norma (POLLUM, 2016). A atual Instrução Normativa do estado de Santa Catarina sinaliza que será editada uma normativa específica para edificações tombadas pois, em nota, determina que seja aplicada, no que couber, somente “enquanto não for editada IN específica para as edificações tombadas pelo patrimônio histórico e cultural” (CBMSC, 2015, p. 3).

Para traçar diretrizes para a evacuação de pessoas em locais de interesse de preservação, é necessário caracterizar as particularidades existentes nesses locais, edifícios e sítios históricos brasileiros, em relação à segurança contra incêndio.

4.5 CARACTERIZAÇÃO DOS LOCAIS DE INTERESSE DE PRESERVAÇÃO

Munaier (2011, p. 8) elenca os fatores que devem ser levados em conta na avaliação da proteção contra incêndio em edificações: “o tipo construtivo da edificação, sua ocupação, os materiais que podem vir a queimar, exposições à propagação e os meios de combate disponíveis”. A autora ressalta aspectos primordiais nas edificações antigas que são: sua idade; os materiais que a compõem (muitas vezes incendiários); e a falta de preocupação em relação à segurança contra incêndio na época de sua construção. Cada tipo de edifício, residencial, industrial ou para outros fins, deve possuir um plano de combate a incêndio que leve em conta suas particularidades (MUNAIER, 2011).

4.5.1 Edifícios Históricos

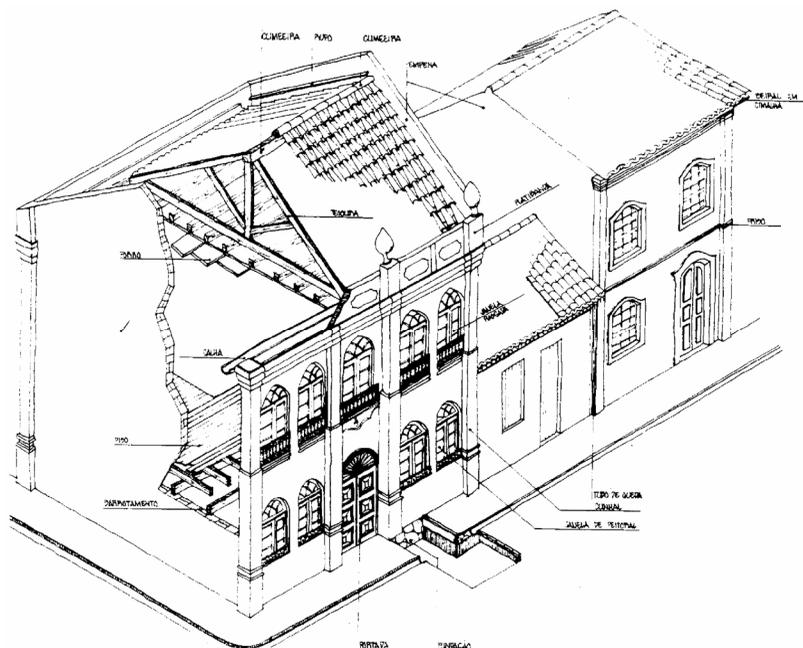
Os edifícios históricos podem ser de vários tipos, que poderão diferenciar-se pelo uso, materiais constituintes ou dimensões. Construídos em outra época, não é incomum que sejam constituídos de materiais combustíveis. Muitos não possuíam instalações de combate a incêndio e não foram projetados com a carga necessária para novas instalações elétricas. Passam longos períodos sem receber reformas, ou passam por acréscimos e reconstruções errôneas.

Grande parte das edificações comumente listadas no patrimônio histórico brasileiro são as que mantiveram seu uso, ao longo dos anos, como edificações religiosas (catedrais, capelas, mosteiros e outros), civis (escolas, grupos escolares, prefeituras, cadeias), edificações públicas de saúde (hospitais, asilos e outros), militares (fortalezas, mesmo sem estarem ativas), palácios (casas de governo), teatros, cinemas. Outras que, após o tombamento, tiveram novos usos atribuídos, mas preservaram suas características arquitetônicas de volumetria, materiais e, algumas vezes, até de layout. São exemplos: hotéis, pousadas, museus, bibliotecas, institutos, entre outros. Também é possível encontrar residências unifamiliares listadas como patrimônio histórico do país, ou edifícios e sobrados em que um ou mais andares têm caráter comercial e os demais residenciais.

Enquanto divisões verticais com lajes caracterizam mais de um compartimento na edificação, a divisão dos pavimentos com forro em madeira e assoalho faz com que a edificação funcione como se possuísse uma única compartimentação. Quando a divisão entre fachadas geminadas, entre edificações vizinhas, se dá com paredes de madeira, neste caso, também se qualificam como uma só compartimentação, ou grupos de compartimentos, mesmo se tratando de duas ou mais edificações distintas (GOUVEIA, 2006). Essas características podem ser visualizadas na Figura 12.

No caso de igrejas e museus, os objetos que compõem o seu acervo são de valor inestimável. Em bibliotecas, o acervo é armazenado em áreas compactadas, estantes, com material extremamente susceptível ao incêndio (MUNAIER, 2011). Além das características específicas dos edifícios históricos, deve-se levar em consideração as alterações e as adaptações realizadas ao longo dos anos. Essas alterações e adaptações trazem grande preocupação, no âmbito da proteção, que fica dificultada (MUNAIER, 2011).

Figura 12 - Partes de um edifício típico.



Fonte: Klüppel e Santana (2005).

Vê-se, portanto, que os edifícios históricos envolvem questões de singularidade sem precedentes. Segundo Serpa (2009), faz-se necessário o conhecimento de que cada edificação histórica possui qualidades específicas, as quais devem ser identificadas e compreendidas, quando se trata de intervenções no patrimônio histórico edificado.

Como representado na Figura 12, e caracterizado por Rodrigues (2010), as edificações de interesse de preservação apresentam-se, comumente, contíguas ou com pouco afastamento entre elas. Essa característica faz as edificações assumirem a forma de aglomerados de grande densidade, o que promove uma possível propagação das chamas. Gouveia (2006, p. 39) afirma que, “quanto maior o volume do compartimento incendiado, maior a dificuldade do combate e maior o risco de propagação para edificações vizinhas”. Rodrigues (2010) evidencia, também, o grande valor patrimonial, histórico, arquitetônico, cultural e afetivo que os centros históricos apresentam, mostrando que eles devem ser valorizados e preservados. Visto isso, a análise deve ser

estendida aos conjuntos formados por grupos de edificações e áreas combinadas desses grupos.

4.5.2 Centros Históricos

As áreas de interesse de preservação, pelo grande valor afetivo, cultural, histórico que possuem devem receber maior cuidado quanto à prevenção de incêndio, que podem trazer perdas irreversíveis ao patrimônio. A essa perda de identidade das cidades, acresce-se, muitas vezes, a perda de vidas humanas (RODRIGUES A. S., 2010). O autor dá continuidade ao tema, elencando as características dos centros históricos e expõe a fragilidade que apresentam frente aos fatores que contribuem à rápida propagação de incêndio:

a) edificações com estruturas e vedações em madeira, tornando-as mais vulneráveis ao fogo e dificultando o controle do incêndio;

b) edificações contíguas, ou com pouco afastamento entre elas, contraindo uma grande densidade e facilitando a propagação das chamas (Figura 13);

c) população desses centros apresenta grande parte de usuários idosos, dificultando a percepção e reação à situação de incêndio e mobilidade desses ocupantes;

d) edifícios com uso alterado durante sua vida, sem o devido cuidado de adaptações, podem apresentar divisões de pequenas dimensões (o que facilita a propagação do incêndio) e muitas vezes labirínticas, configurando caminhos de evacuação extremamente complexos;

e) muitos edifícios encontram-se abandonados, degradados ou até em ruínas, muitos acumulando lixo em seus pátios, possuindo grande carga combustiva e conseqüente propagação rápida do fogo numa situação de incêndio;

f) locais com instalações elétricas antigas, sem manutenção e, muitas vezes, casos agravados com improvisações feitas ao longo do tempo, sendo uma das principais causas de início de incêndio;

g) ruas e outros acessos muito estreitos, sinuosos, com grandes declives, com degraus ou rampas, de traçado complexo, dificultando o acesso dos veículos de combate e resgate das equipes de bombeiros (Figura 14);

h) utilização de botijões de gás em locais não adaptados a esse armazenamento, sendo que em uma possível ocorrência de vazamento, na presença de uma ignição, pode haver uma explosão, o que configura um caso bastante extremo;

i) inexistência ou insuficiência de meios de extinção de incêndio, como hidrantes e detecção ou alarme, ou seja, não possuem as instalações atuais de proteção e combate a incêndio. A implicação é o aumento do tempo entre o início do incêndio e o começo do seu combate, seja pelos ocupantes, ou pelas equipes de bombeiros;

j) suas vias públicas, normalmente estreitas, com permissão de estacionamento de veículos, impedindo ou retardando a chegada de caminhões tanque e outros veículos de combate e resgate em caso de incêndio e outras emergências;

h) edificações dotadas de espaço acima dos forros e sótãos, local irregular de armazenagem de materiais e falta de manutenção de fiação e outros recentes equipamentos elétricos, constituindo grandes fontes de combustão (RODRIGUES, 2010).

Figura 13 - Centro histórico do Rio de Janeiro.



Fonte: Da autora.

Figura 14 - Centro histórico de São Luís.



Fonte: Da autora.

Outra característica presente em muitas edificações geminadas é a de possuírem paredes divisórias apoiadas umas sobre as outras, facilitando a propagação do incêndio entre as edificações (SILVA, 2003). De forma análoga a Rodrigues (2010), Lucena (2014) atribui o grande risco de incêndio dessas áreas à configuração geométrica e à usual degradação que muitos centros históricos apresentam. Além disso, a proximidade das edificações impossibilita o acesso rápido das equipes de bombeiro e resgate, dificultando o embate ao fogo (LUCENA, 2014). A autora destaca, ainda, que a segurança contra incêndio em áreas de interesse de preservação é deficitária devido à falta de aplicação do

sistema de combate a incêndio, ou falta de manutenção desse sistema e, também, ao fato da atual legislação de segurança contra incêndio não ser clara, ou não ir ao encontro das normas de conservação do patrimônio cultural. Diante do exposto, como forma de exemplificação e constatação, serão descritos alguns casos de incêndio em edifícios e áreas históricas ocorridos no cenário brasileiro.

4.6 CASOS DE INCÊNDIO EM LOCAIS HISTÓRICOS

Os casos mais relevantes de incêndio em edifícios históricos, no Brasil, foram os incêndios no Museu de Arte Moderna do Rio de Janeiro, na Igreja Nossa Senhora do Carmo, em Mariana/MG, na Igreja Nossa Senhora do Rosário de Pirenópolis/GO e, recentemente, o incêndio no Museu da Língua Portuguesa, na cidade de São Paulo/SP.

O Museu de Arte Moderna do Rio Janeiro/RJ foi atingido, em 9 de julho de 1978, por um incêndio que destruiu 90 % da coleção do museu, que incluía aproximadamente mil obras de arte. O edifício, de arquitetura moderna, não possuía sistema de detecção e alarme ou de extinção automáticos e foi recuperado posteriormente, contudo, o acervo se perdeu. O incêndio foi atribuído a uma falha elétrica, ou cigarro. Na Igreja Nossa Senhora do Carmo, na cidade de Mariana/MG, datada de 1784 e tombada pelo Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico de Minas Gerais (IEPHA), o incêndio, “destruiu boa parte do piso de madeira, dois altares laterais e todo o telhado” (ONO, 2004, p. 1). O sinistro ocorreu após quatro anos da execução de trabalhos de restauração. O acervo, peças que incluem imagens do século XVIII, foi resgatado por moradores vizinhos. A igreja Nossa Senhora do Rosário de Pirenópolis/GO, construída em estilo barroco e tombado pelo IPHAN, também após a sua restauração, foi destruída pelas chamas e só restaram as paredes de taipa de pilão.

Atualmente, três incêndios marcaram a cidade de São Paulo. Em novembro de 2013, o auditório do Memorial da América latina foi atingido por um incêndio. Alguns funcionários estavam no local e foram retirados sem ferimentos. O edifício é parte do conjunto arquitetônico de exposições e eventos, projetado por Oscar Niemeyer (HELM, 2013). Em dezembro de 2015, o Museu da Língua Portuguesa, na cidade de São Paulo/SP, foi acometido por um incêndio. A edificação, que faz parte do complexo da Estação da Luz, inaugurada em 16 de fevereiro de 1867, havia sido restaurada e teve o museu implementado em 2006. O incêndio, possivelmente, teve início em uma lâmpada de filamento, sendo propagada a ignição por materiais têxteis de uma exposição do primeiro

andar. Dos 7.700 m², 5.000 m² foram consumidos pelas chamas. Não houve perda de acervo, pois tratava-se de acervo digital, porém, houve grandes perdas arquitetônicas e históricas (SERPA, 2009). Uma brigadista do museu perdeu a vida durante a evacuação de quarenta pessoas do prédio. Vale destacar que, possivelmente, as perdas humanas não foram maiores porque o museu não recebeu visitantes naquele dia (SOARES, 2017). Mais recentemente, na madrugada de 1º de maio deste ano, o edifício Wilton Paes de Almeida desabou após um incêndio de grandes proporções. O prédio modernista e vanguardista, construído na década de 1960, era tombado pelo município de São Paulo e, atualmente, 372 moradores o ocupavam de forma precária. A ocupação do edifício, coordenada por um movimento social que busca atenuar o número de pessoas em situação de rua, aumentou a vulnerabilidade do prédio que já não possuía as medidas de segurança contra incêndio necessárias. Foram identificadas sete vítimas fatais na tragédia. Outros edifícios em seu entorno também foram atingidos pelo incêndio, dentre eles a Igreja Luterana de São Paulo, primeira em estilo neogótico construída na cidade, tombada pelo município e que teve parte de sua construção, cobertura, vitrais e órgão centenário destruídos (MESQUITA, 2018).

Na cidade de Florianópolis/SC, onde se localizam os edifícios que serão avaliados neste trabalho, os principais incêndios ocorridos em edificações históricas foram: no Mercado Público de Florianópolis, no Imperial Hospital de Caridade e no Edifício das Casas Coelho.

4.6.1 Mercado Público Municipal de Florianópolis

O Mercado Público Municipal, inaugurado em 5 de novembro de 1899, teve a construção de sua primeira ala entre 1896 e 1899, que vinha a substituir o primeiro mercado que fora desativado. Em 24 de janeiro de 1931 o mercado foi reinaugurado, passando a apresentar a atual arquitetura: a segunda ala construída e a ligação por meio de duas pontes construídas sobre torreões (VEIGA, 2010). De arquitetura eclética, o espaço caracteriza-se por encontros e comércio, além de ser um importante símbolo da identidade cultural da cidade (SERPA, 2009).

O incêndio, ocorrido em agosto de 2005, teve início com a combustão de óleo saturado em fritadeira elétrica e sua propagação alcançou três botijões de gás, levando o fogo a toda ala. As chamas consumiram toda a ala norte, com sessenta e oito lojas, permanecendo apenas as paredes externas. No mercado funcionavam lojas de comércio de sapatos, roupas, utensílios, artesanato e cafés, lanchonetes e restaurantes. Essas atividades desenvolvidas no edifício, somadas à

adequação das instalações, pode ter colaborado para a severidade do incêndio (SERPA, 2009).

4.6.2 Imperial Hospital de Caridade

O Imperial Hospital de Caridade é uma das casas de saúde mais antigas do país e é marco da arquitetura em Florianópolis. Inaugurado em 1º de janeiro de 1878 recebeu diversos acréscimos ao longo dos anos. O conjunto arquitetônico, que representa uma das principais referências urbanas da paisagem da área central de Florianópolis, teve parte da edificação atingida por um severo incêndio em 05 de abril de 1994. Em seu complexo estão abrigadas antigas obras sacras, incluindo a imagem de Nosso Senhor dos Passos e diversos documentos históricos do Estado, alguns perdidos por completo pelo fogo ou pela água durante o combate ao incêndio (SERPA, 2009). As causas desse desastre não foram esclarecidas.

4.6.3 Casas Coelho

O edifício conhecido como Casas Coelho, comércio que ali funcionava na época do incêndio, foi construído em 1912, na Rua Conselheiro Mafra, centro de Florianópolis e teve diversos usos, sendo o primeiro deles um hotel e depois casas de comércio. O incêndio ocorreu durante a madrugada e uma pessoa morreu no local.

O prédio das Casas Coelho foi atingido por um violento incêndio na madrugada de 16 de maio de 1998, um sábado [...]. O prédio era todo fechado por grades e não possuía sistema hidráulico para apagar as chamas. Conforme Betina, em 1987, o imóvel havia passado por um restauro bastante rigoroso, incluindo toda reforma da instalação elétrica (LIMA, 2002).

Observa-se, nos exemplos mencionados, edifícios com disposição de ambientes, acessos e usos bastante distintos. Sendo edifícios antigos, possuem aberturas, materiais de revestimento, mobiliário, entre outros, que dificilmente podem ser alterados. Nesse sentido, faz-se importante o avanço em estudos na área de segurança em locais históricos, tema que será abordado no item subsequente.

4.7 SEGURANÇA EM LOCAIS HISTÓRICOS

Para o desenvolvimento do estudo na área de segurança em locais históricos, realizou-se uma revisão de literatura a partir de publicações que abordam a evacuação de pessoas em edificações de interesse históricos. A busca, de forma sistemática, utilizou os passos do *SystematicSearchFlow* (SSF) (FERENHOF; FERNANDES, 2016).

A partir do objetivo da pesquisa foi criada a *query* por meio de buscas exploratórias e resultou em: (“human behavior”) AND (“emergency exit” OR “escape route” OR “fire”) AND (“historical buildings” OR “historical heritage” OR “architectural heritage”). Em seguida, essa estrutura foi formada juntamente com os critérios de inclusão e exclusão definidos no protocolo.

Os critérios de inclusão foram: artigos acadêmicos revisados por pares, escritos em português ou inglês, sendo que os termos da *query* foram buscados no título, palavras-chave e resumo. As bases de busca utilizadas, num total de seis, foram *Scopus*, *Ebsco*, *Engineering Village*, *Emerald*, *Wiley* e *Web of Science*. Destaca-se que, para parametrização da busca, não foi utilizado recorte temporal.

Os critérios de exclusão foram: remoção de artigos de literatura cinzenta, como relatórios, livros e pesquisas não acadêmicas, documentos em outras línguas e os não disponíveis integralmente para leitura, ou seja, não foram excluídos aqueles arquivos disponíveis pelo portal da CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – e os arquivos *open access*.

Para a organização dos documentos criou-se um portfólio bibliográfico e utilizou-se um software de gerenciamento de referências a fim de automatizar e agilizar o processo de procura. A pesquisa foi realizada em 27 de abril e repetida em 03 de maio de 2017, obtendo-se os mesmos resultados. A busca em cada base de dados respeitou o protocolo estabelecido, tendo sido encontrados os seguintes artigos: 11 documentos no banco de dados *Scopus*, 10 no *Ebsco*, 1 no *Engineering Village*, 22 no *Emerald*, 175 documentos no *Wiley* e nenhum no *Web of Science*. Foi verificada, em seguida, a duplicidade do material encontrado, resultando num total de 218 documentos para serem analisados. Após serem aplicados os filtros do método, analisados os títulos, resumo e palavras-chave de todos os 218 documentos, chegou-se a 8 artigos dentro do objetivo da pesquisa, que foram lidos na íntegra. Essa última fase de análise resultou em 4 artigos alinhados ao objetivo. São eles (seguem os nomes dos artigos e sua tradução em português): “*Intelligent evacuation guidance systems for improving fire safety of Italian-style historical*

theatres without altering their architectural characteristics” ou “Sistemas de orientação de evacuação inteligente para melhoramento da segurança contra incêndio de teatros históricos em estilo-italiano sem alterar suas características arquitetônicas”; “*Fire safety in Italian-style historical theatres: How photoluminescent wayfinding can improve occupants’ evacuation with no architecture modifications*” ou “Segurança contra incêndio de teatros históricos em estilo-italiano: Como a sinalização fotoluminescente pode melhorar a evacuação de ocupantes sem modificações arquitetônicas”; “*An IoT-based monitoring approach for cultural heritage sites: The Matera case*” ou “Uma abordagem de monitoramento baseado na Internet das Coisas para locais do patrimônio cultural: O caso de Matera”; e “*How do people with disabilities consider fire safety and evacuation possibilities in historical buildings?: A Swedish case study*” ou “Como pessoa com deficiência consideram a segurança contra incêndio e as possibilidades de evacuação em edifícios históricos?: Um estudo de caso sueco”. Esses artigos apresentam e, de certa forma, delimitam o que de mais atual já foi pesquisado sobre o objeto deste trabalho. Por esse motivo, serão discutidos a seguir. Além desses, no item 4.7.4, são apresentados outros estudos referentes à evacuação de pessoas em locais históricos buscados em periódicos de forma exploratória.

4.7.1 Teatro Gentile da Fabriano – Estudos de Evacuação

A equipe de pesquisadores da *Università Politecnica delle Marche*, Itália, realizou estudos sobre evacuação no *Teatro Gentile da Fabriano*, um exemplo significativo de teatro histórico de estilo italiano. Esse estudo resultou em dois artigos: “*Intelligent evacuation guidance systems for improving fire safety of Italian-style historical theatres without altering their architectural characteristics*” e “*Fire safety in Italian-style historical theatres: How photoluminescent wayfinding can improve occupants’ evacuation with no architecture modifications*”

No primeiro artigo, Bernardini et al. (2016) buscam uma solução de conceito inovador em sistema de sinalização de emergência na segurança contra incêndio para edifícios históricos. São apontadas as dificuldades da segurança contra incêndio e evacuação em edifícios como este, a citar algumas: as pessoas comumente não estão familiarizadas com os espaços e aspectos desses edifícios e eles apresentam alta vulnerabilidade ao fogo e diversas fontes possíveis para a ocorrência de incêndio. São listados estudos anteriores que tratam sobre sistemas de sinalização, aspectos que estes estudos apresentam em relação à pesquisa dos autores e como podem ser diminuídos os tempos de evacuação.

Os autores afirmam que as abordagens atuais dos regulamentos de segurança contra incêndio na Itália definem expressivas e irreversíveis intervenções para o aumento do nível de segurança dos ocupantes, com alteração do layout do edifício. Essa alteração ocorre, por exemplo, com a introdução de elementos à prova de fogo, aumento da dimensão e número de caminhos e saídas de evacuação. Contudo, os autores concluem que essas soluções se mostram insuficientes.

A proposta adota o IEGS, um sistema de orientação inteligente de evacuação que monitora o comportamento humano (como as pessoas se movem) mesmo em situações de *blackout* e presença de fumaça. A pesquisa foi realizada no teatro, em forma de simulação com pessoas, adotando-se o referido sistema. O IEGS está baseado em densidade, adotando-se as vantagens da abordagem de comportamento ou BD (*behavioral design*). Com a coleta e envio dos sinais de presença das pessoas durante a evacuação, em tempo real, por um sistema *wifi*, o sistema elabora um algoritmo de orientação e retorna as indicações direcionais para os sinalizadores de saída de emergência. Esses sinalizadores podem ser os já fixados na construção, como as placas de orientação tradicionais luminosas, ou por dispositivos pessoais, como smartphones. O sistema pode alterar a sinalização, gerando a melhor forma de evacuação, de acordo com as informações colhidas em tempo real. Foram testados dois cenários, um sem e outro com o sistema. Todos os ocupantes conheciam a entrada principal e 10 % conheciam as secundárias. O resultado foi uma redução do tempo de evacuação que passou de 170 segundos, sem o sistema de orientação, para 125 segundos, com o sistema de orientação, ou seja, uma melhora de 26 % no cenário IEGS com um aumento de 88 % dos ocupantes utilizando rotas secundárias (essas, menos lotadas). Apesar do foco da pesquisa ser o sistema de evacuação inovador, também são caracterizadas as pessoas que utilizam o ambiente específico. Elas representam uma grande concentração de pessoas e não possuem familiaridade com o edifício, além de serem adultas. Este estudo utiliza os dados de comportamento humano existentes na literatura como um dos parâmetros para alimentar o algoritmo responsável por otimizar a saída das pessoas em situação de emergência. Para futuras pesquisas, os autores apontam:

a) investigar a otimização de sistemas similares, considerando a minimização do número de avisos / placas, através de investigações acerca da percepção humana de elementos de identificação (incluindo técnicas de monitoramento inovadoras, como técnicas de rastreamento ocular);

b) a integração arquitetônica dos sinais, adotando novos componentes miniaturizados inteligentes, diferentes fontes de energia e infraestruturas de comunicação, a fim de reduzir o impacto desses componentes sobre o patrimônio do edifício;

c) expandir as tecnologias de evacuação para o uso regular em espaços arquitetônicos, desenvolvendo, por exemplo, aplicativos para dispositivos pessoais;

d) a inclusão de elementos de orientação para pessoas com deficiências visuais, de modo a permitir que saiam de forma autônoma do prédio.

O segundo estudo, de D’Orazio et al. (2016), também foi realizado no Teatro Gentile da Fabriano, intitulado, “*Fire safety in italian-style historical theatres: How photoluminescent wayfinding can improve occupants’ evacuation with no architecture modifications*”. Esta pesquisa foca na utilização de sinalização fotoluminescente em edificações históricas sem a modificação de sua arquitetura. E apresenta algumas avaliações utilizando fotoluminescência para os sistemas de sinalização em edificações. Os autores afirmam que os estudos desses sistemas em edificações históricas são ignorados, destacando os riscos de incêndio que o patrimônio histórico apresenta, com instalações elétricas antigas, atividades comerciais e sistema construtivo de madeira. D’Orazio et al. (2016) afirmam que incêndios nessas edificações causam grandes prejuízos não só ao patrimônio, como também aos ocupantes. Quanto ao layout da edificação e o seu sistema de orientação, os autores defendem que se tratam de fatores decisivos para a correta evacuação de seus ocupantes em caso de emergência.

Essas afirmações estão baseadas na realização de dois testes experimentais no próprio teatro: evacuação com a avaliação individual dos pedestres / ocupantes, utilizando a iluminação de emergência com simulação de condições de fumaça e escuridão; e simulação de incêndio avaliando-se o tempo total de evacuação, as opções de saída e a velocidade de movimentação do grupo, todas em condições de iluminação de emergência. O sistema instalado era composto de setas com indicação da rota de fuga, adesivos luminescentes em escadas e barra antipânico em portas. Os participantes, em número superior a cem pessoas, declararam não estarem familiarizados com o sistema fotoluminescente. Eles também responderam um questionário ao final da simulação. O resultado mostrou o que outros estudos de sinalização apontam: os indivíduos testados mostram a preferência de sinalizações contínuas localizadas no chão, as quais são visíveis mesmo em situação de fumaça. E, tanto a simulação individual quanto a simulação em grupo mostraram um aumento de mais

de 50 % na velocidade da evacuação com os indivíduos sendo guiados pelo sistema fotoluminescente de sinalização. Esse experimento envolveu 97 indivíduos de 18 a 80 anos, sendo 55 % de mulheres e 45 % de homens, incluindo uma pessoa que utiliza cadeira de rodas e quatro membros da equipe do teatro. O estudo comprova os seguintes aspectos do comportamento humano em situações de emergência: as pessoas tendem a mover-se no meio dos corredores e hesitam ao descer escadas sem marcação indicadora, segurando-se nos corrimãos. Essa hesitação registrada comprova que o comportamento humano, nesse tipo de evacuação, altera a velocidade da saída das pessoas.

D’Orazio et al. (2016) acreditam que pesquisas futuras podem ser desenvolvidas nas seguintes perspectivas:

a) investigar a otimização de sistemas com base em uma investigação mais aprofundada sobre o comportamento humano e a percepção dos elementos de referência, de modo a minimizar o número de sinais/placas;

b) devem ser utilizadas técnicas inovadoras que medem diretamente as quantidades individuais típicas relacionadas à identificação e percepção dos sinais como, por exemplo, as atividades cerebrais e movimento das pupilas.

Essas técnicas, segundo os autores, podem ser capazes de ultrapassar o pensamento "consciente" individual (por exemplo, na resposta aos questionários), ao avaliar a utilidade do sistema de orientação, identificando onde as pessoas empregam sua atenção durante a evacuação e quais são os estímulos efetivamente percebidos.

4.7.2 Evacuação de área histórica - Caso de Matera

Descreve-se, aqui, um estudo que objetiva a utilização da Internet das Coisas – IoT na proteção do patrimônio cultural. O estudo de Gribaudo, Iacono e Lewes (2017) foi denominado “*An IoT-based monitoring approach for cultural heritage sites: The Matera case*” e utiliza uma modelagem quantitativa para o planejamento e gerenciamento de eventos / situações em locais de patrimônio cultural populosos.

A Internet das Coisas, IoT do inglês *Internet of Things*, é uma tecnologia que permite que as redes de sensores sem fio se integrem em redes de atuação de comunicação baseadas em padrões que se misturam ao ambiente, criando o ambiente inteligente. A capacidade de conectividade inteligente e a computação são as principais características da IoT, que permite uma evolução do paradigma de computação em relação a computação tradicional.

A modelagem quantitativa baseia-se em sistemas de monitoramento e avaliação de uma situação, sendo esses sistemas adaptados à Internet das Coisas. Nele, o comportamento da multidão está incluído. É utilizado um modelo de probabilidade e estatística e o estudo de caso se realiza na cidade de Matera, Itália. O local é apresentado como muito peculiar, caracterizado por uma acessibilidade limitada. A maior parte da cidade é cravada na rocha, com vários locais públicos, como restaurantes e hotéis, localizados em cavernas. Casas e outras construções apresentam-se umas sobre as outras. Os cenários do estudo, em número de dois, caracterizam-se por: uma situação cotidiana, onde após os serviços religiosos na Catedral de Matera, localizada no centro da cidade de Matera, as pessoas saem da edificação e retornam para suas ocupações. Esse cenário objetiva entender o comportamento espontâneo das pessoas e servir de base para o cenário 2. No segundo cenário propõe-se a saída de 500 pessoas da Catedral ao mesmo tempo, que se encaminham para diversas direções. O mapeamento é realizado com *Google Maps* e o monitoramento se dá por agentes sensores. Os agentes sensores são câmeras de vigilância, dispositivos de monitoração ambiente, microfones, entre outros, com função local ativada para identificação de possíveis ameaças. O modelo seleciona cinco agentes distintos: visitantes, agressores, socorristas, o próprio local do patrimônio que está se analisando e os dispositivos de detecção baseados em IoT. As primeiras três classes de agentes são dinâmicas, no sentido de que se deslocam pelo território. Os dois últimos são estáticos, pois não alteram a localização durante a evolução do cenário.

Os autores citam vários estudos de modelos de movimento e comportamento de multidões. Esses estudos afirmam que os pedestres, em condições normais, tendem a manter o caminho mais curto e mais fácil possível, enquanto em situações de emergência, acometidos pelo pânico, os pedestres alteram o comportamento e produzem formações características que resultam no aumento da velocidade e das concentrações nos mesmos caminhos. Eles passam a utilizar apenas caminhos conhecidos, perdendo a capacidade de encontrar uma rota ideal, empurram-se, agrupam-se e saem em debandada. Criam um arco denso de pessoas na frente das portas, bloqueando passagens, ou seja, criando um efeito de estrangulamento, ou *bottleneck*.

Gribaudo, Iacono e Lewes (2017) também apresentam um estudo sobre a tecnologia da Internet das Coisas como uma solução flexível para aplicações de gerenciamento e proteção relacionadas ao patrimônio cultural. Essa solução, segundo os autores, pode se dar em pequena escala, como em museus inteligentes, ou em larga escala, como no

turismo inteligente, cidades inteligentes e regiões inteligentes. Compreendendo, assim, o comportamento dos visitantes desses locais.

A evolução dos agentes, apresentados em mapa, é registrada a partir de leituras após 30 segundos, 5, 15 e 120 minutos. Os resultados mostram que a IoT pode auxiliar projetos e a implementação de estratégias e ações de proteção em defesa do patrimônio cultural e dos sítios relevantes, incluindo possíveis roubos e emergências. Também pode auxiliar na demonstração de como as pessoas se deslocam em locais com acessibilidade tão peculiar e com um acervo tão importante.

O comportamento humano, encontrado na literatura existente, é aplicado neste estudo como parâmetro no sistema de monitoramento. Esse comportamento é o descrito na abordagem multiagente, em que os pedestres, em condições normais, tendem a manter o caminho mais curto e mais fácil, evitando desvios, mesmo em multidões. Em pânico ou situações de emergência ou de pressa, os pedestres mudam o comportamento e produzem formações características que resultam do aumento de velocidade e das concentrações nos mesmos caminhos. Para a modelagem utilizada não é descrito um tipo específico de pessoas, mas o estudo identifica-as como visitantes, possivelmente, devido ao fato da cidade ser um local de turismo.

Neste estudo, as sugestões de trabalho futuros são:

- a) concentrar-se em testes mais avançados, com padrões de ataque (ataques terroristas, por exemplo) em diferentes locais;
- b) utilizar uma abordagem com outras metodologias, para simplificar a descrição dos cenários considerados. O intuito dessa abordagem seria o de melhorar a usabilidade da técnica de modelagem para especialistas que não são peritos em modelagem e avaliação de desempenho.

4.7.3 Estudo de Evacuação em Edifícios Históricos

Lena et al. (2012) desenvolveram um estudo exploratório intitulado “*How do people with disabilities consider fire safety and evacuation possibilities in historical buildings? - A Swedish case study*”. Trata-se de um estudo sobre a evacuação segura em edifícios históricos e como ela pode ser melhorada para pessoas com diferentes deficiências. Os pesquisadores apresentam algumas pesquisas anteriores que focam nos diferentes tipos de deficiência das pessoas, mas que não compreendem edifícios históricos.

Conforme apontam Lena et al. (2012), foram realizadas entrevistas utilizando grupo focal, com o propósito de buscar o maior número

possível de experiências desses usuários e aumentar o conhecimento dos pesquisadores sobre o assunto. Os entrevistados, que somam 20 pessoas, foram separados em quatro grupos de acordo com as deficiências de cada um: deficiência de mobilidade em usuários que não utilizam cadeira de rodas; deficiência de mobilidade em usuários que utilizam cadeira de rodas; deficiência visual; e deficiência auditiva. Dentre os relatos dos entrevistados, destacam-se aqueles que afirmaram já haverem participado de simulações de incêndio em seus trabalhos ou escolas, tendo sido avisados para esperar até que medidas especiais pudessem ser tomadas para retirá-los do local, o que não ocorreu. Outros relataram que as pessoas com deficiência são, em geral, mais calmas do que pessoas sem deficiência quando se trata de lidar com situações difíceis e estressantes. Alguns participantes relataram que, geralmente, edifícios que possuem pouca mobilidade são os de maior dificuldade de evacuação e que muitos edifícios históricos, em geral, possuem essa característica. Em relação a pessoas que orientam as evacuações foi relatado que, em edifícios históricos, essas pessoas não possuem qualquer conhecimento em evacuação de pessoas com deficiência. Alguns participantes afirmaram ter buscado informações, nos próprios edifícios, para sua evacuação, percebendo que eles não possuíam acessibilidade. Os participantes percebem que as pessoas que em situações normais são prestativas em ajudar, em uma situação de emergência podem não manter a mesma postura.

Alguns problemas foram levantados pelos entrevistados:

a) pessoas com deficiência tendem a diminuir o ritmo da evacuação;

b) plantas de edifícios históricos tendem a ser mais claras e lógicas comparadas aos novos edifícios, sendo um ponto positivo a orientação de evacuação;

c) é importante que a rota de evacuação do edifício seja utilizável também por pessoas com deficiências. O grupo com deficiência motora sugere que os níveis sejam adequados para que o deficiente com uso de cadeira de rodas possa evacuar o edifício sem auxílio;

d) os grupos sugerem que o alarme sonoro de emergência seja acrescido de luzes piscantes e que se utilize baixa frequência para auxiliar a evacuação das pessoas com deficiência auditiva.

Os entrevistados também registraram algumas sugestões:

a) implementação de um elevador com proteção ao fogo para cadeirantes;

b) um registro, na entrada do edifício, das pessoas com deficiências, no intuito de ganhar um cartão inteligente que, em casos de

emergência, identificaria facilmente a localização dessas pessoas. Nesse caso, funcionários poderiam auxiliar na sua evacuação.

Lena et al. (2012) afirmam que muitos dos problemas identificados podem ser contornados no projeto do edifício, implantação de tecnologias e, principalmente, com medidas organizacionais. Quanto a soluções projetuais, este quesito pode ter grande impacto em edifícios históricos, pois muitas alterações necessárias podem ser inviabilizadas ou proibidas, pois podem impactar o valor histórico/cultural do edifício. Conclui-se que a falta de organização, como a inexistência de procedimentos de evacuação e planejamento para inclusão de pessoas com deficiência, foram as principais reclamações dos entrevistados.

Por meio das simulações e dos questionários aplicados aos participantes, os pesquisadores ampliam o conhecimento referente ao comportamento dos usuários com diferentes tipos de deficiência frente a evacuação em edificações históricas. Esse estudo teve origem na detecção do problema de falta de dados, na literatura existente, para esta especificidade de evacuação.

Apesar de não terem sido feitas sugestões para as próximas pesquisas, foram identificadas ideias, como as citadas acima, que podem contribuir no desenvolvimento de trabalhos futuros: a implementação de elevadores com proteção ao fogo para cadeirantes em edifícios que possuem desníveis e o registro, na entrada de edifício, de pessoas com deficiências.

4.7.4 Estudos relacionados ao risco de incêndio em centros históricos

Serão apresentados, neste item, três estudos relacionados ao risco de incêndio em centros históricos, sendo um deles na cidade de Ouro Preto / MG, outro no centro histórico de Cuiabá / MT e o último que investiga a utilização de fotogrametria digital como ferramenta na análise de risco de incêndio em sítios históricos.

Araújo, Souza e Gouvêia (2005) realizaram um estudo acerca das questões de preservação e conservação de cidades históricas tombadas sob a ótica da proteção contra incêndio, intitulado “Análise de risco de incêndio em cidades históricas brasileiras – a metodologia aplicada a Ouro Preto”. Para tanto, realizou-se uma pesquisa de 30 dias no Bairro Antônio Dias, da Cidade de Ouro Preto, MG – Brasil. Com o objetivo de realizar um mapeamento de incêndio e o cálculo do risco global de incêndio do bairro estudado, foram selecionadas trinta edificações residenciais. Na maior parte dessas edificações foram encontradas as

características originais de sua construção, porém sem manutenção. Concluiu-se que o bairro estudado possui um nível alto de risco global de incêndio, havendo a necessidade de uma intervenção para salvamento dessas edificações, devido ao alto grau de precariedade apresentado. Os autores afirmam que se ocorressem intervenções de melhorias, elas contribuiriam para o aumento do nível de segurança contra incêndio do bairro e que, através de medidas simples, haveria importantes ganhos para a preservação da herança histórica e cultural da cidade.

Na pesquisa “Análise de risco de incêndio aplicada ao centro histórico de Cuiabá”, Monteiro (2010) procedeu à análise de risco global de incêndio baseada no Método de Gretener. Para isso, realizou-se um levantamento de três edificações de uso comercial que durou uma semana. O resultado apresentou valores para o coeficiente de segurança abaixo do aceitável. Como conclusão, apontou-se a deficiência da infraestrutura local, juntamente com a flexibilidade da legislação municipal, como fatores determinantes no processo. O autor infere que a proposição de um coeficiente numérico mínimo é insuficiente para controle do risco de incêndio e sugere a instalação de extintores, detectores automáticos e sinalização de saída.

O último estudo, desenvolvido por Álvares (2007), no Laboratório de Análise de Risco de Incêndio (LARIn) da Universidade Federal de Ouro Preto, investiga a utilização da fotogrametria digital como ferramenta na análise de risco de incêndio em sítios históricos. A fotogrametria digital “baseia-se no levantamento fotográfico do bem de interesse, submetido a um processamento computacional, o que produz, em tempo relativamente curto, grande volume de informações sobre ele” (ÁLVARES, 2007, p. 10). A autora faz uma abordagem teórica, realizando o estudo de diversas técnicas de cadastramento arquitetônico e monumentos de valor histórico. Adotou-se como base o método de análise de risco de incêndio em sítios históricos, tendo sido elencadas as diversas vantagens da fotogrametria digital como ferramenta de preservação do patrimônio construído, como: baixo custo, pouco tempo para realização, precisão do levantamento e grande variedade de informações obtidas na coleta. Afirma-se que não houve dificuldades relevantes no decorrer da pesquisa teórica, tendo sido encontrado um volume satisfatório de informações no exterior e no Brasil. Após o estudo teórico, a autora realizou aplicações e testes em casos reais para análise da ferramenta. Para o levantamento fotogramétrico digital foram utilizadas câmeras digitais, uma estação scanner a laser e marcadores (pontos de referência no objeto estudado para possibilitar a sobreposição de imagens), além do software *PhotoModeler*. O software,

disponibilizado pelo Laboratório de Conservação da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia, é utilizado em todo o mundo. Além disso, é ganhador de prêmios, gera modelos 3D e medições 3D a partir de fotografia 2D. Álvares (2007) aponta alguns fatores que dificultam as tomadas fotográficas:

- a) tamanho da caixa da rua, que muitas vezes possui dimensões pequenas que não permitem ângulos perpendiculares ao objeto;
- b) a presença de barreiras físicas como árvores, postes, mobiliário urbano, entre outros;
- c) a presença de barreiras móveis como pessoas, carros, animais, entre outros;
- d) o adensamento urbano com lotes cada vez mais próximos, dificultando tomadas fotográficas corretas de todas as fachadas, no caso de edificações;
- e) a topografia do terreno, que algumas vezes cria dificuldade em tirar fotografias de uma mesma posição;
- f) o tamanho de algumas edificações, que não permite que elas sejam fotografadas por uma única imagem;
- g) a presença de muros e grades devido a segurança do patrimônio;
- h) treinamento de pessoas para executar o modelamento no software.

Dentre as recomendações feitas para evitar erros futuros na utilização da ferramenta, destacam-se: o trabalho com equipe treinada, desde o levantamento em campo até o processamento de dados; a realização de visitas prévias ao local para confecção de croquis, plantas e fotografias; e definição dos pontos de tomada das imagens para evitar distorções no modelo. A autora não concluiu se a aplicação da fotogrametria digital na análise de risco de incêndio em sítios históricos é relevante. Apenas apontou a facilidade dessa ferramenta no cadastramento dos imóveis e áreas de preservação.

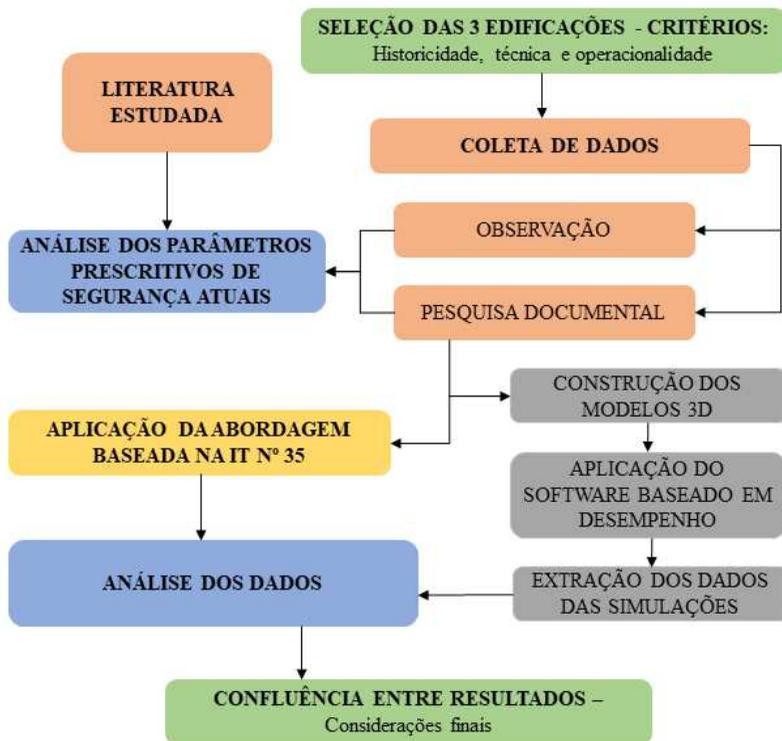
Foram abordados, neste item, diferentes métodos e suas aplicações para análise de risco em edifícios e centros históricos. Essa análise se fez necessária para conhecer algumas formas de aplicação atuais desses métodos. No caso do primeiro trabalho, que aplica o método de risco global de incêndio, é interessante lembrar que ele pode ser aplicado tanto a uma edificação isolada quanto a um conjunto histórico. Quanto ao método de Gretener, é interessante a sua consideração, pois é ele que origina o método de risco global de incêndio. Já o terceiro estudo, que utiliza a fotogrametria digital é atrativo quanto a inovação e utilização de um método que, aparentemente, é de fácil aplicação, porém, não é aplicado na análise interna da edificação. No próximo Capítulo, será

apresentado o método de pesquisa adotado para o desenvolvimento da proposta contida neste trabalho.

5 MÉTODO DE PESQUISA

Neste capítulo descreve-se o método utilizado na pesquisa, onde são apontadas as ferramentas empregadas no processo de coleta de dados e na análise dos resultados. Apresenta-se, na Figura 15, o fluxograma do método aplicado.

Figura 15 - Fluxograma do método aplicado.



Fonte: Elaborado pela autora.

Foram selecionados três edifícios para estudo de caso, apresentando-se a análise de suas características físicas e históricas, os eventos que ocorrem e também a caracterização de seus ocupantes. Para isso foi feita a coleta de dados e pesquisa documental nos prédios históricos. Foram então analisados os parâmetros para o dimensionamento das medidas de segurança contra incêndio e pânico referentes à evacuação segura de pessoas, atualmente implantados nesses edifícios, para verificar se estão de acordo com os projetos e se possuem

manutenção. A adoção dessa triangulação metodológica visa o aprofundamento da coleta e análise de dados com emprego de estratégias e instrumentos distintos.

Aplicou-se a abordagem embasada na Instrução Técnica nº 35/2017 (2ª Edição) – Segurança contra incêndio em edificações que compõem o patrimônio cultural, do Corpo de Bombeiros do Estado de Minas Gerais, vigente desde o mês de julho de 2017. Por ser o código de segurança contra incêndio mais amplo atualmente, ele possibilita a utilização de critérios de avaliação baseados em desempenho, respeitando as peculiaridades do patrimônio cultural. A Instrução Técnica, apresentada no item 4.4.3 deste trabalho, prevê a aplicação de parâmetros para o dimensionamento das medidas de segurança contra incêndio e pânico em edificações que compõem o patrimônio cultural, além de aplicar a metodologia de avaliação do risco de incêndio das medidas de segurança contra incêndio e pânico.

Posteriormente, foram construídas as modelagens em três dimensões de cada objeto de análise, a partir dos projetos em formato digital para, então, realizar-se a simulação computacional. A simulação se deu a partir de um software baseado em desempenho, especificamente para o estudo da evacuação de pessoas nos objetos escolhidos. Com este obteve-se o tempo total necessário para a evacuação completa das edificações e as distâncias que o ocupante deve percorrer para o abandono do prédio, além de serem verificadas as interações entre as pessoas e a arquitetura de cada edifício. Com os resultados das aplicações, fizeram-se as comparações e análises entre a instrução técnica e a simulação. Essa análise possibilitou verificar se o método proposto na instrução técnica contribui para auxiliar na adoção de medidas alternativas quando da impossibilidade de aplicação daquelas previstas em Instrução Técnica e Normas da ABNT.

5.1 ESTUDO DE CASO

Foram selecionadas três edificações distintas para a realização do estudo de caso: o Museu Histórico de Santa Catarina - MHSC, o Teatro Álvaro de Carvalho - TAC e o Colégio Catarinense, apresentados na Figuras 16, 17 e 18, respectivamente. O estudo de caso possibilita interpretações do contexto onde o objeto a ser pesquisado se insere e, a partir das observações dos objetos, a comparação de dados e as suas avaliações (YIN, 2003).

Figura 16 - Museu Histórico de Santa Catarina.



Fonte: Da autora.

Figura 17 - Teatro Álvaro de Carvalho.



Fonte: Da autora.

Figura 18 - Prédio principal do Colégio Catarinense.



Fonte: Google maps, 2018.

Os edifícios estão localizados no centro histórico de Florianópolis/SC, conforme imagem da Figura 19.

Figura 19 - Localização dos objetos de análise.



Fonte: Elaborado pela autora a partir de Google maps, 2018.

A escolha desses três edifícios deve-se a três motivos principais:

a) **historicidade:** os edifícios possuem grande representatividade na cidade de Florianópolis, cidade da autora e do campus sede dessa universidade, como exemplares arquitetônicos singulares de suas categorias. São tombados pelo patrimônio histórico e possuem acervo relevante e único;

b) **técnicos:** tratam-se de edifícios com grande concentração de pessoas, além de apresentarem relevantes peculiaridades de *layout*;

c) **operacional:** são edificações com total acesso aos projetos e possibilidade de visitas *in loco* para realizar as observações e registros fotográficos corroboram para o trabalho de coleta de dados.

Outros edifícios que foram sondados para a pesquisa, mas sua viabilização não se concretizou: a) Escola Estadual Lauro Müller, terceiro grupo escolar de Santa Catarina construído em 1912, abriga mais de 500 alunos e está localizada no centro de Florianópolis / SC. A direção da

escola não pôde atender à solicitação devido à pouca disponibilidade de funcionários no período, impossibilitando atendimentos extraordinários; b) Maternidade Carmela Dutra: inaugurada em 1955 como a primeira maternidade pública do estado, possui linhas modernistas, uma tendência da década da construção do edifício. Localiza-se no centro de Florianópolis / SC, possui 112 leitos e registra 400 partos por mês. Devido a especificidades de uso e ocupação, como objeto de análise, a maternidade ampliaria o viés da pesquisa, o que poderia trazer maiores dificuldades para a aplicação do método proposto e a obtenção de resultados.

Os edifícios selecionados são apresentados e descritos quanto: a sua contextualização histórica, o seu tombamento, a sua área construída e descrição de sua planta, à evolução das intervenções e ao tipo de evento que ocorre neste edifício.

Acredita-se que a aplicação do estudo nesses três edifícios centenários represente uma grande contribuição para a proteção do patrimônio histórico de Florianópolis.

5.2 COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada por pesquisa documental e observação. A pesquisa documental dessas edificações propiciou a coleta de projetos arquitetônicos e de segurança contra incêndio. O projeto arquitetônico foi utilizado na construção dos modelos dos edifícios em três dimensões para viabilizar a simulação computacional. O projeto de segurança contra incêndio auxiliou a verificação da implantação das medidas protetivas nas edificações. Foram realizados contatos com as instituições que administram cada edifício: a direção de patrimônio da Fundação Catarinense de Cultura – FCC, no caso do museu e do teatro, e a direção do Colégio Catarinense.

Em cada edifício estudado foram feitas três visitas técnicas que viabilizaram as observações. A observação é uma técnica de coleta de dados para obter informações e, para isto, utiliza os sentidos. Consiste em ver e ouvir, bem como examinar fatos ou fenômenos que se deseja estudar (MARCONI; LAKATOS, 2003). Na observação, foram verificadas como as rotas de fuga do atual projeto de segurança contra incêndio dessas edificações foram implantadas e se as medidas de proteção apresentam manutenção. Dentro das rotas de fuga foram verificados: circulações, instalações, obstáculos, portas e sentido das rotas de fuga, além de serem aferidas as distâncias entre cadeiras, layout e guarda-corpos em relação aos projetos obtidos. Na observação também foram verificadas as

possíveis intervenções realizadas nas características originais do prédio para implantação das medidas de segurança, bem como as exceções que por ventura ocorreram devido às exigências das normas prescritivas frente ao patrimônio. Os registros foram feitos por fotos e anotações em plantas.

Os dados coletados foram organizados em uma planilha eletrônica de referência para cada estudo de caso, o que possibilitou a correlação entre a análise dos dados colhidos com a literatura estudada. Teve-se como intuito analisar se os parâmetros para o dimensionamento das medidas de segurança contra incêndio podem ser aplicados, ou se essas medidas apresentam dificuldade técnica ou inviabilidade de execução.

5.3 APLICAÇÃO DA INSTRUÇÃO TÉCNICA Nº 35/2017 (2ª EDIÇÃO)

A Instrução Técnica nº 35/2017 (2ª Edição) – Segurança contra incêndio em edificações que compõem o patrimônio cultural foi aplicada aos objetos de análise. Primeiramente seguiu-se as determinações quanto aos parâmetros para o dimensionamento das medidas de segurança contra incêndio e pânico referentes à evacuação segura de pessoas. Após esse passo, foi realizada a aplicação da metodologia de avaliação de risco de incêndio para a determinação do risco global de incêndio existente nas edificações escolhidas. Foram também consultadas as seguintes instruções técnicas: IT nº 09 – Carga de incêndio nas edificações e área de risco que determina as características, parâmetros e valores para o cálculo da carga de incêndio da edificação; IT nº 01/2017 (8ª Edição) – Procedimentos administrativos para determinação das medidas não especificadas na IT nº 35; e o Regulamento de Segurança Contra Incêndio e Pânico nas edificações e áreas de risco no Estado de Minas Gerais – anexo A, a fim de verificar o grupo que cada edifício pertence referente a sua ocupação. Outras instruções técnicas consultadas foram: IT nº 08/2017 (2ª Edição) – Saídas de emergências em edificações; IT nº 15/2017 (2ª Edição) – Sinalização de emergência; IT 06/2005 – Segurança estrutural das edificações; IT nº 38 – Controle de materiais de acabamento e de revestimento – CMAR; IT nº 04/2014 (2ª Edição) – Acesso de viaturas nas edificações e áreas de risco; IT nº 07 – Compartimentação horizontal e compartimentação vertical para complementar as informações dos parâmetros para dimensionamento.

5.4 APLICAÇÃO DO SOFTWARE COMPUTACIONAL

Essa etapa consistiu na aplicação do software computacional nos modelos em três dimensões criados para este trabalho. As modelagens foram construídas a partir dos projetos em formato digitais dos três edifícios e representam os espaços internos e externos que compreendem os ambientes onde se concentram os ocupantes de cada edifício, as rotas de circulação existentes em cada prédio, suas saídas e obstáculos presentes nesse caminho.

Com estes modelos foram rodados os cenários das simulações para verificação do tempo de evacuação; a distância máxima percorrida no abandono do edifício e o comportamento dos pedestres durante a evacuação. Observados os tempos de escape nas edificações simuladas, estes tempos são indicativos de atendimento ou não às normas atuais. Também foram verificados se os parâmetros de medidas de segurança são atendidos ou se é possível optar por medidas alternativas, seguindo-se a Instrução Técnica. O simulador computacional utilizado foi o módulo do *PTV Viswalk* presente no software *PTV Vissim*, apresentado no item 2.4.5 do trabalho. Nesse simulador a modelagem dos pedestres pode ser escolhida entre as abordagens *car following model* do Professor Wiedemann, em que os pedestres são modelados como um tipo de veículo e não se movem livremente, mas sim ao longo de determinados pontos pré-definidos, ou a abordagem *Social Forces Model*, desenvolvida em 1995 pelo Professor Dirk Helbing, que permite aos pedestres andarem independentemente do seu destino, sem um modelo de rede pré-definido das suas trajetórias. O Professor Helbing é consultor científico da *PTV Group* e ele, especialmente, expandiu o modelo para uso no software *Viswalk* (PTV, 2018). Para o desenvolvimento deste trabalho foi escolhido o modelo *Social Forces Model* devido à simulação apresentar resultados mais realistas.

5.4.1 Características gráficas do software

O modelo no software *PTV Vissim* pode ser visualizado em duas ou três dimensões, ou dos dois modos simultaneamente. Para a captação dos mapas de densidade é utilizada a visualização 2D e para a análise visual dos pontos de gargalo, interação entre as pessoas e como elas se comportam no ambiente de evacuação, é feita a visualização em 3D durante a execução da simulação.

Para cada objeto de análise os ocupantes desses edifícios foram posicionados em cada ambiente, de acordo com o observado na coleta de

dados. Na planta 2D do software essa população é representada por um ponto preto com borda azul. É necessário estipular, em cada área, a quantidade de pessoas, com a definição de decisão deslocamento, ou seja, para onde esse volume de pedestres se desloca e por onde: a origem e o destino dos pedestres. A origem, representada por um ponto laranja, é aplicada no ambiente de onde o grupo de pessoas irá partir, e o destino, ponto azul claro, posicionado no destino dos ocupantes naquela simulação. Também podem ser definidos caminhos obrigatórios para os pedestres percorrerem. As áreas verdes são as áreas de origem dos deslocamentos e as em vermelho as áreas de destino dos pedestres. As demais áreas, escadas e rampas são representadas na cor cinza e são utilizadas pelos pedestres nos deslocamentos. Todos os obstáculos são representados na cor bordô e podem possuir alturas diferentes: as paredes construídas na altura de 1,50 m possibilitam a visualização dos pedestres durante a evacuação e para os demais obstáculos, como mobiliário, guarda-corpos e outros, adotou-se menor dimensão.

5.4.2 Parâmetros das simulações

Devido as flutuações aleatórias que influenciam nos resultados de cada simulação, em decorrência do modelo adotado, foram determinados parâmetros para que fossem obtidas diversas simulações consecutivas. Com isso, obtém-se resultados mais precisos, a partir da média dos resultados dessas simulações. Os parâmetros de simulação utilizados são: período total de 10.000 s, o que possibilita a execução de 10 simulações consecutivas de 1.000 s cada; a resolução de 10 *time step(s) Sim. Sec.*, que define que o pedestre dê 10 passos por segundo de simulação; semente aleatória 42 que proporciona a aleatoriedade de pedestres a cada simulação; e velocidade máxima de simulação. O método adotado é o microscópico e o software padroniza o caminho mais curto para os percursos. Outros critérios como tempo de viagem, distância mínima e caminho com menor densidade de pessoas são adotados pelo PTV Viswalk para que os próprios pedestres tomem a decisão da rota a seguir. Dessa forma o software evita um comportamento irrealista em pontos de formação de barreiras, permitindo percentagens de escolha de acordo com a percepção de desvios que tornem o caminho mais benéfico para o pedestre (RAMOS, 2015). Os intervalos de tempo utilizados foram: de 0 s a 1.000 s, de 1.000,1 a 2.000 s, e assim sucessivamente.

5.4.3 Composição dos pedestres

Adotou-se para a composição dos pedestres: homens e mulheres com velocidade de distribuição desejada de 1,2 m/s para as situações de saída normal das edificações e a velocidade de 1,53 m/s para as situações de saída em situação de emergência. Os avatares possuem variação nas dimensões e nas cores que compõem as suas aparências. O comportamento do deslocamento na rede é definido de acordo com o padrão do software, destacando-se neste: o tempo de inércia, $\tau = 0,4$ s, que pode ser relacionado a um tempo de reação à emergência; $ReactToN = 8$, que são 8 os pedestres mais próximos que exercem influência sobre cada pedestre em seu deslocamento; e $noise = 1,2$, sendo que quanto maior este valor, mais forte as são forças aleatórias que são adicionadas se um pedestre permanece abaixo de sua velocidade desejada por um certo tempo.

5.4.4 Extração de dados

Para cada simulação rodada, opta-se pelos dados que se deseja obter nas configurações de avaliações. Os dados externos são gerados em arquivos do programa PTV e importados para planilha eletrônica.

A análise de todas as informações e dados coletados por meio do método aqui explanado está apresentada no Capítulo 6 deste trabalho, enquanto a última etapa do trabalho, com as considerações finais e recomendações estão apresentados no Capítulo 7.

6 DISCUSSÃO E RESULTADOS

As análises dos três estudos de caso foram feitas através da correlação entre os dados coletados pela pesquisa documental, observação e aplicação da IT nº 35/2017 e a literatura estudada.

6.1 MUSEU HISTÓRICO DE SANTA CATARINA

Os projetos arquitetônico e de prevenção de incêndio do Museu Histórico de Santa Catarina foram disponibilizados pela diretoria de patrimônio da Fundação Catarinense de Cultura em meio digital. O projeto arquitetônico possui data de atualização de abril de 2015 e o projeto de prevenção de incêndio data de dezembro de 2014, sendo que este está sendo alterado junto ao corpo de bombeiros do estado, pois as instalações não atendem ao projeto aprovado atual.

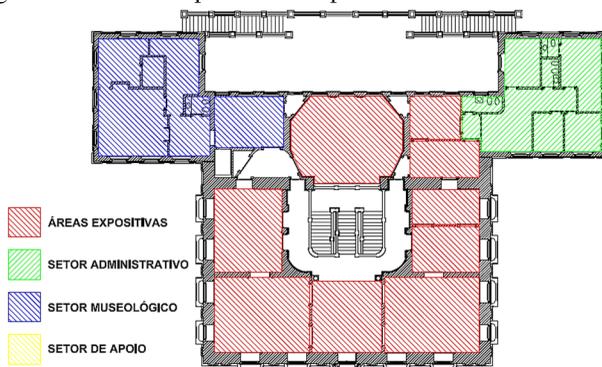
As visitas exploratórias foram realizadas em 23 de novembro de 2017 e 07 e 16 de fevereiro de 2018. O MHSC permaneceu fechado por 90 dias para reforma das instalações elétricas, a partir de 19 de fevereiro deste ano, e a administração do museu não teve tempo hábil para atender as visitas técnicas que seriam necessárias para a pesquisa. Por isso, foram realizadas apenas observações nos espaços abertos ao público em geral, ou seja, as áreas expositivas do museu. Essa área visitada é compreendida pelas áreas hachuradas em vermelho nas Figuras 20 e 21. Nas salas onde concentram-se os setores administrativos, museológico e de apoio não foram feitas observações.

Figura 20 - Planta térrea e do subsolo com as áreas do MHSC.



Fonte: FCC, 2015.

Figura 21 - Planta do pavimento superior com as áreas do MHSC.



Fonte: FCC, 2015.

6.1.1 Aspectos históricos e físicos do edifício

O prédio, construído para ser o Palácio ou Casa do Governador, foi projetado pelo engenheiro militar Silva Paes e teve esse uso sem alterações arquitetônicas significativas até 1890, quando o então governador Hercílio Luz mandou reformá-lo. Anteriormente, o Palácio era uma “casinhola” simples, datada de 1765 e demolida entre 1800 e 1805, juntamente com o alargamento da rua lateral, para dar lugar a um grande sobrado colonial (Figura 22). A intervenção mais significativa, finalizada em 1898, transformou a edificação em uma construção eclética, com amplas esquadrias em madeira e com diversos elementos decorativos, como estátuas, estuques, vitrais e outros (VEIGA, 2010). O edifício é um importante exemplar da arquitetura eclética do final do século XIX, caracterizado por uma conciliação de estilos, como o barroco e o neoclássico, como se vê na Figura 23 (FCC, 2017).

Figura 22 - Palácio do Governo, c. 1890.



Fonte: GERLACH, 2010.

Figura 23 - MHSC atualmente.



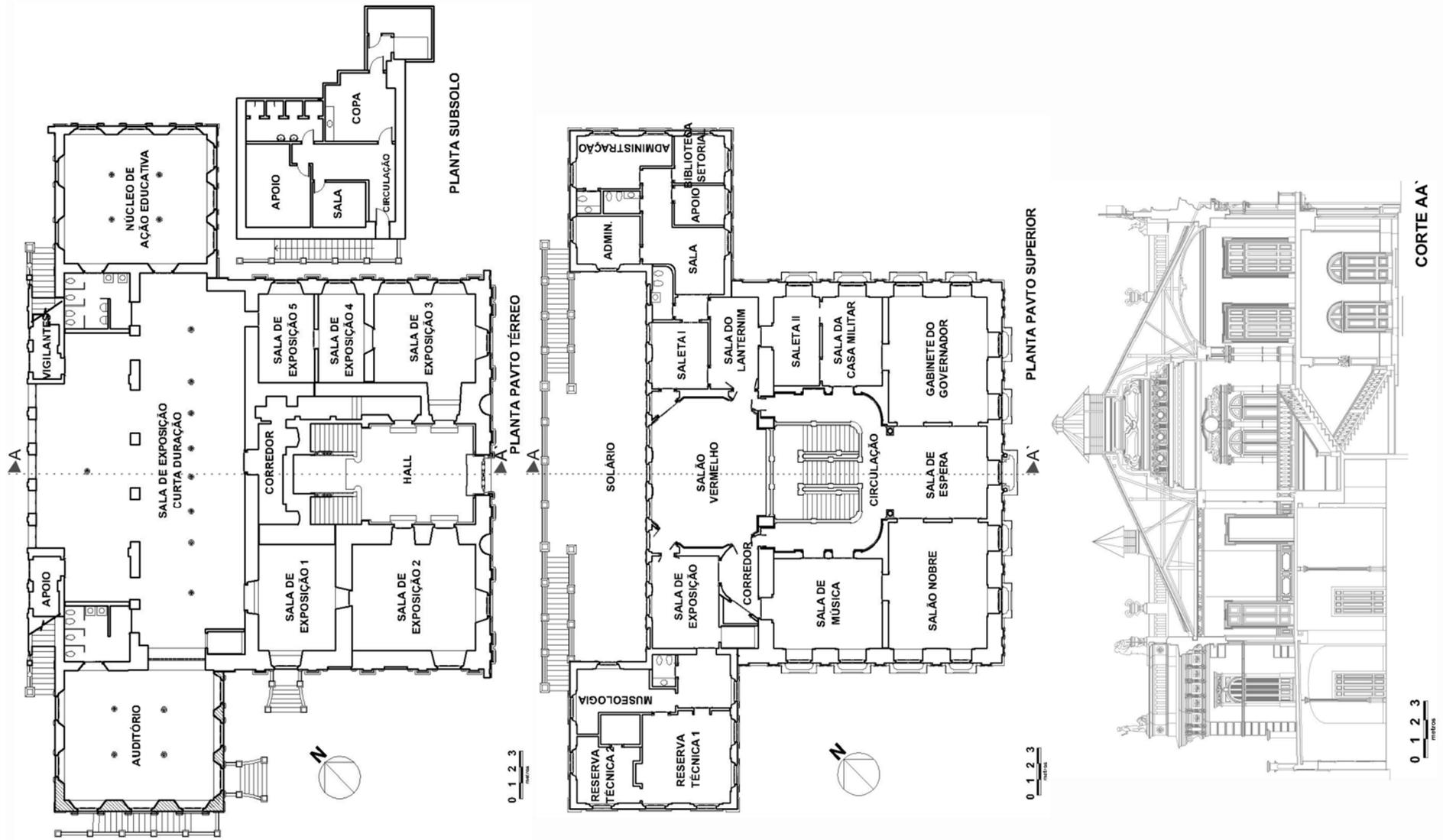
Fonte: Da autora.

O vasto acervo do museu compreende: acervo arquitetônico, arqueológico, arquivístico, bibliográfico e museográfico. Fazem parte deste acervo 68.517 peças da escavação arqueológica realizada entre 2002 e 2003 em seus jardins; documentos relacionados à história do museu de 1970 até os dias atuais; 380 exemplares bibliográficos, incluindo livros, periódicos, CDs e DVD, disponíveis para consulta na biblioteca setorial do palácio e peças do século XIX e XX, tais como mobiliários, pinturas, esculturas, documentos impressos, medalhas, fotografias, armamentos, entre outros que se encontram expostos nos cômodos do histórico palácio (FCC, 2017). O edifício mantém 25 funcionários dentre guardas, jardineiros, monitores e administradores (SERPA, 2009).

A visitação no museu ocorre das 10h às 18h de terça a sexta-feira e nos finais de semana e feriados das 10h às 16h. A parte administrativa atende das 13h às 19h. Eventos e projetos diversos ocorrem em horários de acordo com cada organizador. O Museu Histórico de Santa Catarina, conhecido como Palácio Cruz e Sousa, localiza-se na Praça XV de Novembro, no centro da cidade de Florianópolis/SC e possui 2.045,00 m² de área construída. Tem sua proteção, no âmbito estadual, através do Decreto Lei Estadual nº 21.326 de 26 de janeiro de 1984 e, na esfera municipal, sua proteção é dada pelo Decreto Lei Municipal nº 270, de 30 de dezembro de 1986. O edifício abriga também o Instituto Histórico e Geográfico de Santa Catarina e é uma das principais construções do conjunto arquitetônico do entorno da Praça XV, além da Catedral Metropolitana de Florianópolis, a Casa de Câmara e Cadeia e dos casarios oitocentistas. A parte interna da edificação se divide em: área expositiva, com salas distribuídas no térreo e pavimento superior, salas de administração do museu e acervo do MHSC. Também são realizadas atividades nos jardins do palácio, exposições temporárias de artistas, espetáculos musicais, entre outros.

O edifício principal do Museu Histórico possui três pavimentos, sendo o subsolo, térreo e superior e suas plantas são apresentadas na Figura 24. Divide com mais dois edifícios e jardins, o terreno limitado pela Praça XV de Novembro, a leste; ao norte faz divisa com a Rua Tenente Silveira; a oeste com a Rua Trajano e a sul com um edifício comercial. Sua construção é composta de paredes autoportantes em pedra e barro erguidas em alicerce de pedra e paredes internas em taipa. O telhado em quatro águas possui duas claraboias em ferro e vidro, estrutura em madeira e cobertura em telha cerâmica capa e canal. Possui a maior parte dos pisos em madeira.

Figura 24 - Plantas baixas e corte do Museu Histórico de Santa Catarina.



Fonte: FCC, 2015.

O acesso de visitantes pode ser feito de duas maneiras no pavimento térreo: o principal, voltado para a Praça XV, através de uma porta automática em vidro; e pelos fundos do museu, junto ao jardim, para as salas de exposição temporárias. Pelo hall de entrada, onde se localiza a bilheteria, o visitante acessa as salas de exposições permanentes e temporárias do térreo, além das salas do andar superior, alcançadas por uma escadaria localizada no centro do edifício. O acesso ao piso superior é realizado pelos fundos do palácio, pelas escadas que ligam o jardim ao terraço superior, que acessa as salas administrativas do pavimento superior pelos funcionários do museu ou pela escadaria interna do edifício.

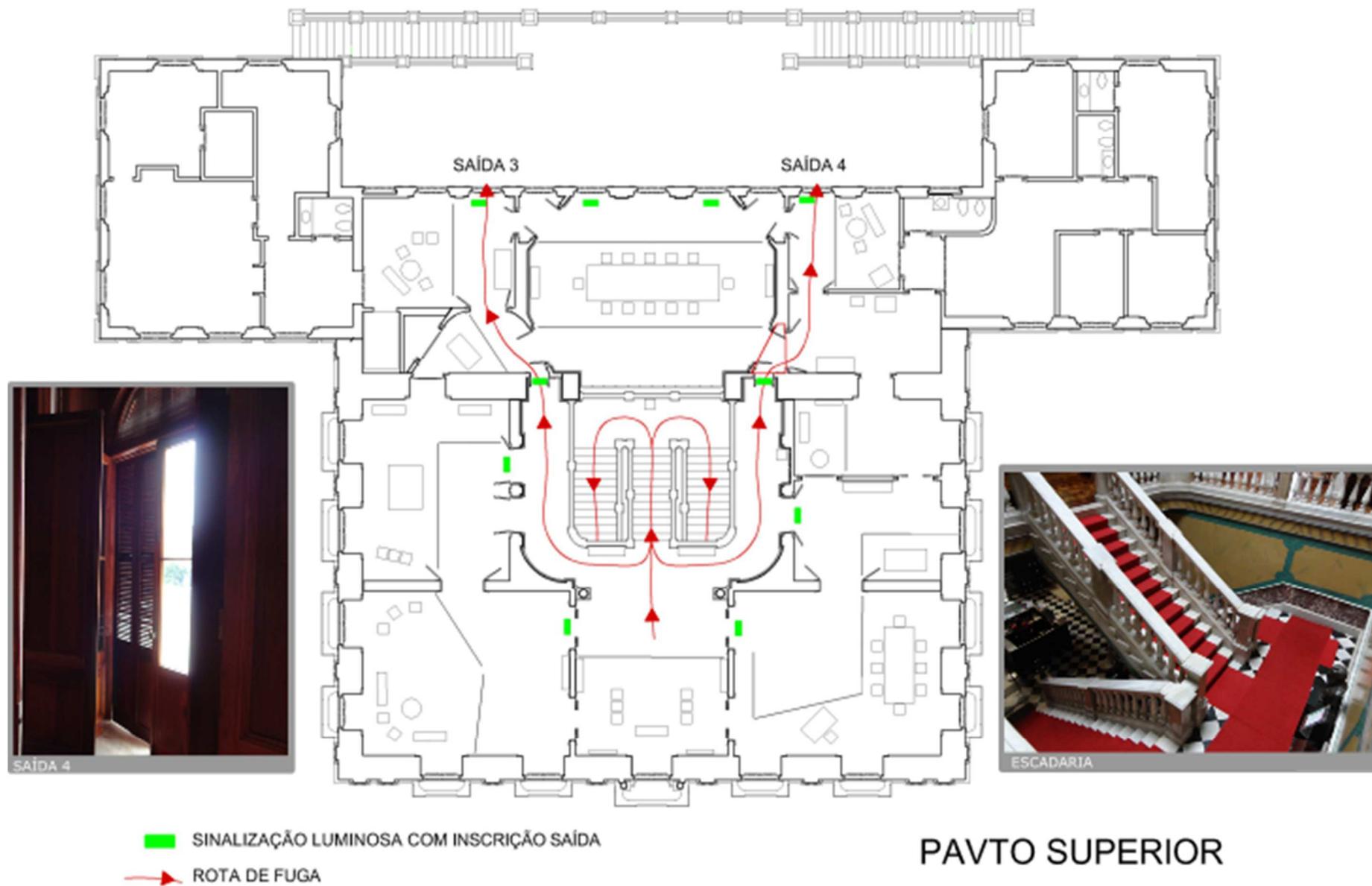
A salas de exposição permanente exibem parte do acervo do museu, com mobiliário de época e obras de arte dispostos em grande porção da área de cada sala, limitada aos visitantes por cordas. A sala de exposição temporária caracteriza-se por um grande salão com algumas cadeiras e painéis fixados nas paredes.

6.1.2 Rotas de fuga

Foram verificadas as rotas de fuga tanto no projeto quanto na sinalização existente na edificação. As áreas aqui elencadas são apenas as expositivas, não tendo sido possível analisar as demais salas do edifício. A representação das rotas e da sinalização de saída estão apresentadas nas Figuras 25 e 26.

Os ocupantes do andar superior da edificação possuem duas possibilidades de saída: pelo próprio pavimento ou pelo térreo. A saída pelo térreo se dá a partir da escadaria principal e “saída 1” (principal da edificação), sinalizada na Figura 26, sendo esta a saída mais conhecida. São indicadas também duas saídas, “saídas 3 e 4” direcionadas ao terraço do museu (Figura 25). Porém, tratam-se de saídas com portas que se mantêm obstruídas por trancas, sendo necessário primeiramente o destravamento dessas portas. Todas as salas do andar superior possuem comunicação com a circulação da escadaria principal que se mostra ampla e visível. Porém, os ocupantes que se encontrarem na Sala da Claraboia, Saleta, Salão Vermelho e Sala de Espera (Figura 24) devem, necessariamente, passar por um cômodo intermediário, antes de alcançar as circulações que rodeiam a escadaria principal

Figura 25 - Rota de fuga do pavimento superior do Museu Histórico de Santa Catarina.



Fonte: Adaptado de FCC, 2015 e Bravo, 2014.

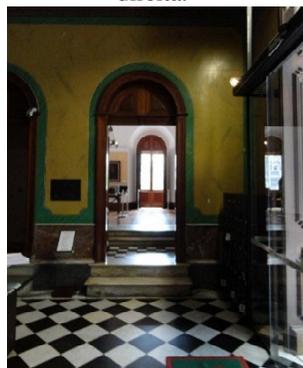
No pavimento térreo do museu os visitantes que se encontram na sala de exposições temporárias têm saída direta para o pátio externo do jardim através da “saída 2”. Nesta saída a porta permanece aberta enquanto o museu está em horário de visitação, conforme mostra a Figura 27. Os ocupantes da sala de exposições térrea têm acesso à porta principal de saída por quatro degraus de escada. Aqueles presentes na circulação térrea têm a opção de retornar ao hall para a saída principal ou à sala de exposição térrea. Na circulação não há sinalização fotoluminescente do caminho de evacuação. Já na saída principal a porta automática de vidro possui indicação de saída, como mostra a Figura 28.

Figura 27 - Sala de exposição temporária e as portas de saída para os fundos do museu.



Fonte: Da autora.

Figura 28 - Sala de exposição térrea ao fundo e porta automática de vidro a direita.



Fonte: Da autora.

Na sequência é apresentada a caracterização dos ocupantes do Museu Histórico de Santa Catarina.

6.1.3 Ocupantes

O número de ocupantes da edificação e como eles se distribuem nos espaços é de extrema importância para o estudo da evacuação segura, tanto para aplicação da IT n° 35/2017 quanto para a simulação computacional. Por isso, foram observados os ocupantes de cada ambiente, sendo empregado ao cálculo o cenário com maior número de ocupantes para os estudos. O museu possui limitação de 40 visitantes ao mesmo tempo para controle de fluxo. Recebe cerca de 400 visitantes por dia em seu espaço de exposição de longa duração e teve, no ano de 2016,

um público de mais de 42 mil pessoas, em todas as atividades realizadas (ASSIS; SANTANA, 2017). As visitas de turmas são mais comumente realizadas por escolares, enquanto visitas individuais são feitas por turistas ou moradores. As Figuras 29 e 30 mostram alguns visitantes do museu. Nessas observações pode-se constatar como esse número controlado de pessoas nos ambientes e sua distribuição nos espaços não causam interações entre as pessoas, nem aglomerações.

Figura 29 - Visitante numa das salas de exibição permanente do museu.



Fonte: Da autora.

Figura 30 - Visitantes em visita ao museu.



Fonte: Da autora.

Na bilheteria permanecem dois funcionários responsáveis pelo controle de acesso dos visitantes. No pavimento superior, junto à circulação, estão um segurança e duas funcionárias que apresentam um pequeno histórico do museu ao visitante recém-chegado e orientam a utilização de pantufas para a manutenção dos assoalhos em marchetaria. Junto aos jardins do palácio puderam ser observados dois funcionários da fundação e dois policiais militares que fazem o controle do acesso às salas administrativas superiores do museu. Foram contabilizadas 74 pessoas no total. As salas administrativas, acervo e apoio ficaram sem informações quanto a sua ocupação.

6.1.4 Medidas de proteção existentes

As medidas de segurança determinadas no projeto de segurança contra incêndio encontram-se implantadas nos espaços do museu, sendo

elas: extintores de incêndio, abrigos de mangueira de hidrante, placas de sinalização de saída de emergência, luminárias de emergência e local da central do alarme de incêndio. Foram observados pontos de acionamento do alarme de incêndio nos ambientes, apesar de não estarem locados no projeto de prevenção. O projeto também não especifica alturas e detalhes dos corrimãos e guarda-corpos.

Quanto à implantação e manutenção desses equipamentos e componentes de segurança contra incêndio, destaca-se: os extintores encontram-se dentro da data de validade e pressurização adequados; os hidrantes encontram-se inoperantes, possuindo no local apenas os abrigos de mangueira (Figura 31); as luminárias de emergência possuem ligação com a rede elétrica e os pontos de acionamento de alarme indicam com luz o seu funcionamento adequado (Figura 32). Quanto à localização das placas de saída de emergência, que fazem a orientação da rota de fuga mais próxima à saída, observa-se: a) as placas em sua maioria encontram-se de acordo com o projeto de prevenção de incêndio; b) estão ausentes as indicações da porta do salão nobre, da escadaria principal, da porta do térreo da sala de exposição temporária e das portas do salão vermelho que se dirigem ao terraço.

Figura 31 - Abrigo de mangueiras de incêndio.



Fonte: Da autora.

Figura 32 - Extintor de piso e, ao fundo, luminária de emergência fixada na parede.



Fonte: Da autora.

Figura 33 - Sinalização de abandono e luminária de emergência sobre a porta.



Fonte: Da autora.

Quanto às saídas de emergência, foi observado que a saída principal é realizada por uma porta automática de correr de duas folhas em vidro. Esta porta não é indicada no projeto de prevenção de incêndio. A iluminação de emergência por blocos autônomos, mesmo projetada em

eletro-calhas, é fixada em pontos nas paredes ou em esquadrias, como verifica-se na Figura 33.

6.1.5 Exceções frente às exigências das normas prescritivas junto ao patrimônio

O palácio Cruz e Sousa possui em seu interior paredes com pinturas murais, pisos em marquetaria e forros em madeira e em estuque pintados artisticamente. Frente às exigências do projeto de prevenção de incêndio da edificação, foram verificados alguns itens que estão aqui pontuados: as tubulações elétricas, em sua grande maioria são embutidas nas paredes. Possivelmente estas foram realizadas antes do tombamento da edificação. Os hidrantes estão locados nos dois pavimentos, porém estão inoperantes. A direção de patrimônio da FCC encontra-se atualmente em diálogo com o Corpo de Bombeiros para regularização da situação: para que não sejam realizadas intervenções de grande porte, a fim de operacionalizar os hidrantes atuais, estuda-se a retirada desses abrigos e a instalação de carretas de extintores de 25 kg em contrapartida aos hidrantes. Alguns equipamentos de segurança, como abrigo de mangueira de incêndio e pontos de acionamento do alarme, estão locados sobre as pinturas murais do andar superior do museu.

6.1.6 Aplicação da Instrução Técnica nº 35/2017 – 2ª Edição

O intuito da aplicação da Instrução Técnica nº 35/2017 (2ª Edição) – Segurança contra incêndio em edificações que compõem o patrimônio cultural, do Corpo de Bombeiros do Estado de Minas Gerais, é verificar se as medidas de segurança implantadas nos edifícios estudados atendem à norma que foi avaliada nesta pesquisa como sendo a mais ampla atualmente e que possibilita a utilização de critérios de avaliação baseados em desempenho, respeitando as peculiaridades do patrimônio cultural.

6.1.6.1 Medidas de segurança

Primeiramente foram aplicadas as determinações quanto aos parâmetros para dimensionamento das medidas de segurança contra incêndio e pânico referentes à evacuação segura de pessoas no objeto estudado. Foram determinadas as características físicas do objeto, resumidas na Figura 34:

Figura 34 - Resumo das características do edifício estudado- MHSC.



Fonte: Elaborado pela autora.

a) o grupo é determinado pela ocupação do edifício, conforme prescreve o Regulamento de Segurança Contra Incêndio e Pânico nas edificações e áreas de risco no Estado de Minas Gerais nas situações em que há aceitável uniformidade na sua distribuição espacial;

b) a altura (H) é determinada pela sua posição em relação ao nível de descarga;

c) a população foi calculada, neste trabalho, por meio de coleta de dados;

d) a área é igual à área total construída da edificação.

Ao Museu Histórico de Santa Catarina foram aplicadas as medidas determinadas na tabela 1 da IT nº 35/2017, apresentada no Anexo A deste trabalho. As medidas de segurança exigidas a cada objeto são mínimas e devem ser aplicadas a todas as edificações tombadas. Os parâmetros de segurança foram resumidos no quadro que se encontra no Apêndice A.

Quanto ao “controle de materiais de acabamento e revestimentos”, entende-se que o MHSC não possui o controle especificado na instrução uma vez que não consta no projeto de segurança contra incêndio essa informação. Quanto à “iluminação de emergência”, o edifício atende a instrução técnica, porém ressalta-se que foram feitas observações quanto ao posicionamento correto dos blocos autônomos. Contudo, não foram acionadas as instalações para verificação de sua efetiva intensidade. Quanto às “saídas de emergência”, a instrução técnica subdivide em sete itens:

a) o edifício possui “rotas de fuga que conduzem a população a um local seguro, preferencialmente ao ar livre, no nível do solo”. No Museu Histórico de Santa Catarina é aplicada a limitação do número de visitantes concomitantes;

b) quanto à “largura das saídas de emergência”, sendo essas: escada, rampas e corredores. No MHSC foram observadas passagens entre ambiente com menos de 80 cm, devido a abertura das portas;

c) quanto aos itens “acessos”, o objeto atende as especificações mínimas;

d) quanto ao “número de saídas nos pavimentos e descargas”, o objeto atende as especificações mínimas;

e) quanto ao item “portas nas rotas de fuga”, o objeto atende as especificações mínimas;

f) quanto aos “corrimões e guarda-corpos”, o museu atende, porém, verifica-se elementos que podem causar enganchamentos;

g) para o item “escadas / rampas” o museu atende às dimensões mínimas e características.

Quanto ao item “sinalização de emergência”, o edifício possui a determinação quanto às sinalizações, porém com a seguinte ressalva: foram observados pontos sem a sinalização de saída de emergência prevista. O museu não atende ao item “extintores”, pois foram observados extintores de gás carbônico – CO₂ – nas áreas com elementos artísticos móveis e integrados, o que pode acarretar danos, devendo ser adotados extintores a base de gás inerte. O edifício não possui “brigada de incêndio”. Quanto ao “plano de intervenção de incêndio”, não há no museu um planejamento que priorize as ações na ocorrência de uma emergência. O edifício atende ao item “alarmes de incêndio”, porém, observa-se que os acionadores de alarme do piso superior do Museu Histórico encontram-se localizados sobre as pinturas murais. O item “detectores de incêndio” não é atendido pelo MHSC, pois não foi observada nenhuma forma de detecção nas áreas visitadas. Quanto aos “hidrantes e mangotinhos” o museu não possui hidrantes ativos, ou seja, eles estão inoperantes. Além disso, os abrigos de mangueira do piso superior encontram-se localizados sobre as pinturas murais.

Avalia-se que uma grande parte das medidas mínimas de segurança não são atendidas pelo MHSC. Muitas pelas características físicas do prédio tombado como, por exemplo, o imponente guarda-corpo da escadaria principal que possui ressaltos em seu desenho que caracterizam locais de possíveis enganchamentos. Porém, vários são os itens que podem ser aplicados ao museu como: implantação de brigada de incêndio e um plano de intervenção de incêndio. O primeiro de grande importância, visto que a população visitante do museu, um público eventual, seria favorecido por pessoal treinado para conduzir a evacuação em caso de sinistro. Já o plano de intervenção é essencial ao museu para a criação do planejamento da retirada do acervo e proteção para os itens que possam vir a ser salvos numa possível condição de incêndio. O plano de intervenção também acresceria ao museu a priorização das ações e a atribuição de tarefas aos funcionários, complementando a atuação da brigada de incêndio.

6.1.6.2 Determinação do risco global de incêndio

Para isenção de alguma das medidas de segurança contra incêndio e pânico previstas no anexo “A” da IT, essa instrução prevê que o responsável técnico pode avaliar o Risco Global de Incêndio na edificação para verificar se as medidas projetadas ou as características da edificação atingem o coeficiente de segurança mínimo aceitável (γ_{\min}). A edificação é considerada segura para os propósitos desse método quando $\gamma \geq \gamma_{\min}$. O Coeficiente de Segurança contra incêndio da edificação (γ) é obtido adotando a razão entre o Fator de Segurança (S) e Risco Global de Incêndio (R) previstos na edificação, pela seguinte equação:

$$\gamma = \frac{S}{R} \quad (2)$$

Adotando-se $\gamma_{\min} = 1$, o responsável técnico pode dispensar as medidas de segurança contra incêndio e pânico previstas para cada edifício desde que este apresente pelo menos: uma medida sinalizadora de incêndio, uma medida extintiva e saída de emergência compatível com público, de acordo com a instrução técnica nº 35/2017.

São então utilizados os dados coletados nas observações e aplicados ao método da IT nº 35/2017, que se baseia no método de Gouveia (2006), descrito no item 4.4.2 desse trabalho. A análise global de risco considera o uso / ocupação, altura, dimensões, características construtivas e carga de incêndio das edificações.

Os parâmetros de exposição de risco de incêndio, de ativação de incêndio e os fatores de segurança são dispostos nas tabelas do anexo B da IT nº 35/2017 e apresentadas no Anexo B deste trabalho. A determinação desses fatores para o Museu Histórico de Santa Catarina seguiu os passos da IT nº 35/2017 e são organizados na tabela presente no Apêndice B deste trabalho. Para o fator f_1 , que exprime o peso dos fatores de risco associados às características construtivas, foi encontrado o valor igual a 2,0, ou tipo V, para o MHSC, pois este não apresenta características construtivas que dificultem a propagação do incêndio, com pés direito duplos sem compartimentação entre os seus níveis. O fator f_2 , referente ao risco associado à grandeza da carga de incêndio é igual a 1,7 e foi obtido pela carga 1.738,50 MJ/m² (SERPA, 2009). O fator seguinte refere-se à posição da carga de incêndio, sendo determinado $f_3 = 2,3$. Para o parâmetro f_4 , que se refere ao fator de risco associado à distância do Corpo de Bombeiros, foi encontrado valor de 1,0, pois este se encontra a menos de 1 km de distância do objeto de análise. Quanto ao fator de risco

associado às condições de acesso f_5 , determinou-se o valor de 1,25, pois o acesso do caminhão do Corpo de Bombeiros e a proximidade das instalações públicas de combate são considerados pela norma como restrito.

Para o cálculo da ativação de incêndio A , determinou-se os parâmetros $A_1 = 1,12$, sendo a natureza da ocupação caracterizada como local de reuniões de público. Quanto ao fator que determina o risco de ativação devido às falhas humanas não se constatou, a partir dos dados coletados, a existência de treinamento e sua periodicidade. Portanto, para este parâmetro foi adotada a pior situação, ou seja, usuários não treinados, sendo encontrado $A_2 = 1,75$. Para A_3 , que é o risco devido à qualidade das instalações elétricas e de gás da edificação, adotou-se 1,50, devido às observações feitas e à informação de que o museu passou por reforma nas instalações elétricas após as visitas realizadas.

Na determinação dos fatores de segurança, o valor de S encontrado foi 64,8, devido às medidas sinalizadoras encontradas e já relatadas neste trabalho no item 6.1.2.

Com os parâmetros levantados, e realizados os cálculos necessários, foi encontrado o coeficiente de segurança $\gamma = 3,4$.

Tem-se, por tanto, que o Museu Histórico de Santa Catarina tem a segurança suficiente quanto a incêndio e pânico, de acordo com este método de avaliação.

6.1.7 Simulação computacional

Para viabilizar as simulações no museu foi feita a modelagem da edificação dentro do software *PTV Vissim*. Foram considerados os ocupantes e definidas as rotas em cada cenário estudado. Algumas modificações foram necessárias na planta e layout, sendo que essas não descaracterizam o museu. Essas etapas precederam a análise dos resultados das simulações computacionais, conforme descrito a seguir.

6.1.7.1 Modelagem

Para a simulação computacional foi construída a modelagem em três dimensões do Museu Histórico de Santa Catarina a partir das plantas do software Auto CAD. A importação dos pisos planos, paredes e demais obstáculos, deu origem a modelagem construída dentro do próprio software *PTC Vissim*, visto que as plantas e layout do museu são relativamente simples. Contudo, as escadas e rampas foram inseridas no

modelo utilizando os comandos do programa da PTV, além de serem informadas as cotas necessárias para a posição dos patamares.

6.1.7.2 Ocupantes

Após a construção do modelo foi realizada a inserção dos ocupantes em cada ambiente virtual e designado o ponto de início e final do trajeto de cada grupo de pessoas, ou como designado pelo software, volume de pedestres. Foram adicionadas às plantas 74 pedestres distribuídos nas salas de exposição e demais locais onde foram feitas observações, conforme descrito no item 6.1.3 desse Capítulo.

6.1.7.3 Cenários

Foram estudados seis cenários diferentes para o Museu Histórico e estes estão apresentados na Tabela 4. No primeiro e segundo cenários, as 74 pessoas distribuídas no museu têm como destino a “saída 1”, ou saída principal do museu, com a finalidade de estudar a evacuação dessas pessoas caso só utilizem o caminho conhecido previamente pelos usuários do prédio, ou uma caso haja impossibilidade de utilização das demais saídas. Para o cenário 1 foi adotada a velocidade desejada de 1,2 m/s, que permite avaliar a saída dos pedestres na velocidade normal de caminhada. No cenário 2 o mesmo volume de pedestres faz o abandono da edificação com a velocidade desejada de 1,53 m/s, que caracteriza uma velocidade de caminhada mais rápida, correspondente a uma evacuação de emergência.

Tabela 4 - Configuração dos cenários estudados no MHSC.

CENÁRIO	DESCRIÇÃO	POPULAÇÃO	VELOCIDADE
CENÁRIO 1	Saída 1	74	1,20 m/s
CENÁRIO 2	Saída 1	74	1,53 m/s
CENÁRIO 3	Saída mais próxima	700	1,20 m/s
CENÁRIO 4	Saída mais próxima	700	1,53 m/s
CENÁRIO 5	Saída 1	700	1,20 m/s
CENÁRIO 6	Saída 1	700	1,53 m/s

Fonte: Elaborado pela autora.

Para o cenário 3 e 4 o volume de ocupantes dos ambientes foi majorado, propositadamente para 700 pessoas, agora utilizando as saídas mais próximas a elas, com o intuito de estudar o tempo de saída do museu em uma situação normal e durante uma evacuação em caso de

emergência, utilizando-se as rotas de fuga previstas no projeto de prevenção de incêndio e pânico e a sinalização de saída implantada. Nos cenários 5 e 6 foram simuladas 700 pessoas, em velocidade normal e de emergência, encaminhadas pela “saída 1” da edificação. O aumento do volume de pessoas foi feita de forma arbitrária com o intuito de simular um grande número de pessoas nesses ambientes, mesmo que, atualmente, esse número seja controlado. Com isso, quis-se observar as interações e gargalos entre as pessoas caso não houvesse um controle quanto ao número máximo de ocupantes na visita do museu.

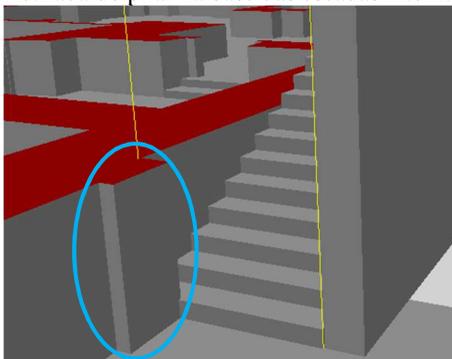
6.1.7.4 Alterações necessárias para a execução das simulações

Em princípio, todas as características do layout nas áreas internas que compõem os caminhos de evacuação da edificação foram representadas. Porém, foram necessários alguns ajustes quanto a planta e layout do museu para viabilizar as simulações computacionais:

a) foram removidos do modelo tridimensional os pilares junto a base da escadaria interna, como mostra Figura 35. O software não permite que obstáculos bloqueiem parcialmente o caminho da evacuação, pois podem conduzir a resultados errôneos;

b) foram diminuídas as larguras dos degraus junto ao hall e entre o hall e a sala de exposição 3. Como os vãos das paredes internas do térreo do museu possuem formato afunilado, que diminui a largura do vão, característico desse sistema construtivo, o software entende como um obstáculo junto aos degraus da escada, tanto no caso de ser no topo da escada quanto no final da escada, inviabilizando a simulação.

Figura 35 - Retirada do pilar na base das escadas internas no museu.



Fonte: Da autora.

Figura 36 - Avatar preso no obstáculo folha da porta e alteração do obstáculo.



Fonte: Da autora.

c) foi modificado o ângulo de abertura da porta da sala de exposição do corredor, conforme mostra a Figura 36. A porta foi primeiramente representada na modelagem de acordo o ângulo observado na visita, o que conferia à área de circulação a dimensão de 34 centímetros. Numa situação real, as pessoas passam de lado nesse ponto do museu, porém os avatares andam para a frente, sem virar o torço, o que faz com que fiquem presos nesse ponto durante a simulação.

6.1.7.5 Resultados das simulações

Fazendo-se a análise visual da saída dos ocupantes do Museu Histórico durante a simulação, têm-se no cenário 1 e 2 uma fluidez durante a saída dos ocupantes, enquanto nos demais cenários a saída se torna mais lenta, principalmente na área próxima a escadaria interna do museu. Nos cenários 5 e 6 apresentam-se aglomerações nas áreas da circulação do pavimento superior, escadaria interna e no hall e circulação da parte térrea do museu, promovendo uma diminuição da velocidade de deslocamento, antes dos ocupantes saírem do prédio pela saída principal, como é verificado na Figura 37. Nesses cenários também é possível visualizar um arqueamento formado junto à única porta da Sala de Exposição Temporária que leva à circulação térrea. Nos cenários 3 e 4 as aglomerações são visíveis, porém sutis, presentes nas simulações apenas

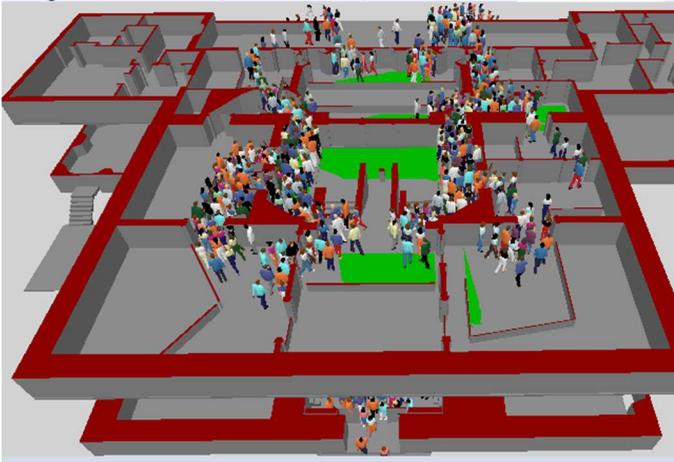
nos primeiros segundos das evacuações e concentradas nas Saleta I, Sala do Lanternim e circulações do pavimento superior (Figura 38).

Figura 37 - Simulação da evacuação do MHSC com cenário 5.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 38 - Simulação da evacuação do MHSC com cenário 4.



Fonte: Elaborado pela autora.

Para análise da densidade foram verificados os mapas de densidade a cada 30 segundos da evacuação em cada cenário. Nos cenários 1 e 2 não ocorre uma densidade significativa durante a evacuação das pessoas no museu. Isso se deve ao número baixo de ocupantes destes ambientes, resultando em uma saída bastante linear, sem interações significativas, desde os primeiros segundos do início da simulação até seu término (Figura 39). Já os demais cenários apresentam uma aglomeração

considerável, sendo a maior parte das áreas onde há ocupantes, representada de acordo com o esquema de cores de densidade de Weidmann (1974 apud PTV, 2018) pela cor vermelha, onde concentram-se em um número igual ou maior que 5 pedestres por m^2 , conforme apresentado na Figura 40.

Figura 39 - Mapa de densidade do MHSC com cenário 1.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 40 - Mapa de densidade do MHSC com cenário 6.



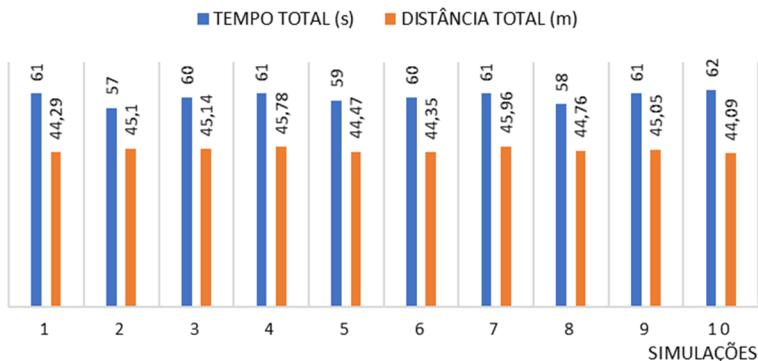
Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 39 refere-se à evacuação no momento 22,70 s e existem na rede 58 ocupantes. Na Figura 40, a imagem representa o piso superior do museu no cenário 6 no segundo 31,70 e a malha conta com 611 pessoas.

Com as simulações realizadas em cada cenário foi possível coletar as informações através do software e exportar para planilha eletrônica. Foram verificados os tempos totais máximos de evacuação de cada simulação, conforme representado nos Gráficos 1 a 6, e calculado o tempo máximo médio para evacuação em cada cenário. Foram obtidos o tempo máximo médio de: 60,5 s ou 1 min para o cenário 1; 46 s para o cenário 2; 198,5 s ou 3 min e 19 s para o cenário 3; 141 s ou 2 min e 21 s para o cenário 4; 376,5 s ou 6 min e 17 s para o cenário 5; e 270 s ou 4 min e 30 s na evacuação do edifício no cenário 6.

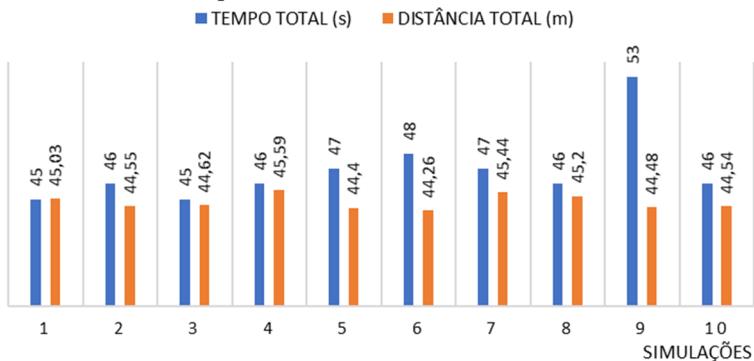
Também foram coletadas as distâncias totais percorridas para a evacuação de cada simulação (Gráficos 1 a 6) e calculada a distância total média em cada cenário. Foram obtidas a distância total média de: 44,91 m para cenário 1; 44,59 m para o cenário 2; 53,63 m para o cenário 3; 50,09 m para o cenário 4; 67,70 m para o cenário 5; e 61,50 m para o cenário 6. Na Tabela 5 apresenta-se o resumo dos resultados.

Gráfico 1 - Tempos e distâncias obtidos no cenário 1 do MHSC.



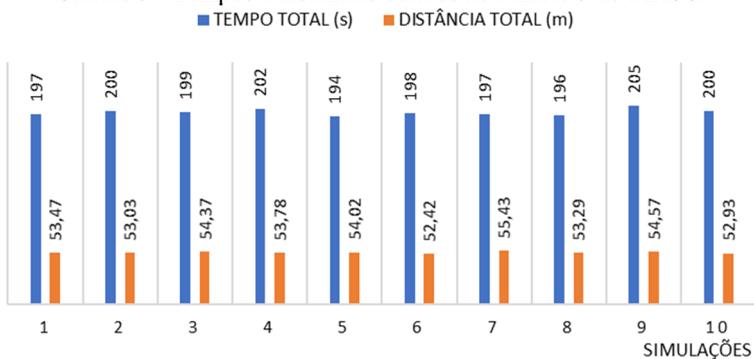
Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 2 - Tempos e distâncias obtidos no cenário 2 do MHSC.



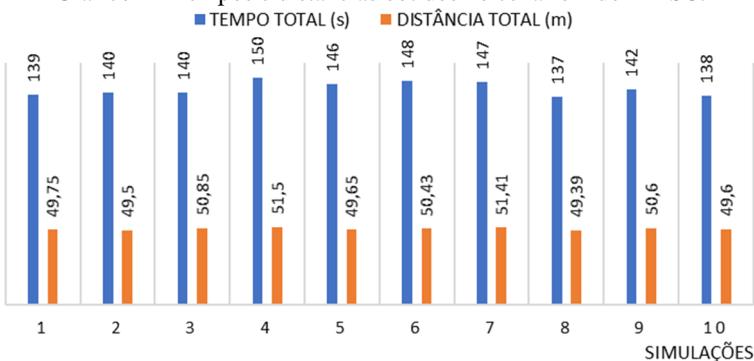
Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 3 - Tempos e distâncias obtidos no cenário 3 do MHSC.



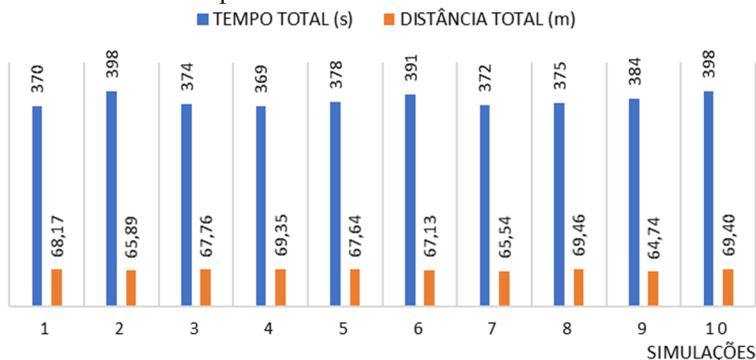
Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 4 - Tempos e distâncias obtidos no cenário 4 do MHSC.



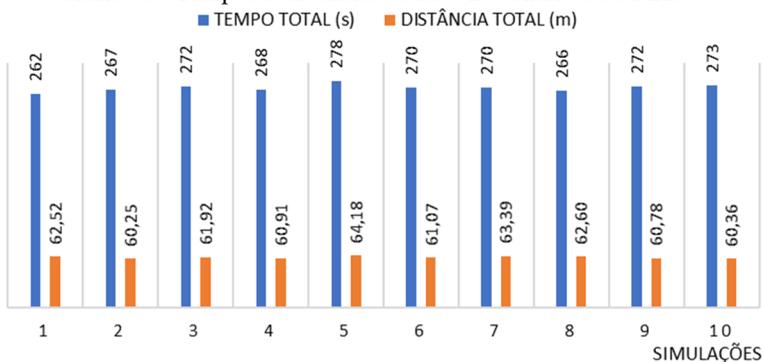
Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 5 - Tempos e distâncias obtidos no cenário 5 do MHSC.



Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 6 - Tempos e distâncias obtidos no cenário 6 do MHSC.



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 5 - Resumo dos tempos e distâncias médios calculados.

CENÁRIO	TEMPO MÁXIMO MÉDIO (s)	TEMPO MÁXIMO MÉDIO (min:s)	DISTÂNCIA TOTAL MÉDIA (m)
CENÁRIO 1	60,5	1:00	44,91
CENÁRIO 2	46,0	0:46	44,59
CENÁRIO 3	198,5	3:19	53,63
CENÁRIO 4	141,0	2:21	50,09
CENÁRIO 5	376,50	6:17	67,70
CENÁRIO 6	270,0	4:30	61,50

Fonte: Elaborado pela autora

As simulações nos seis cenários diferentes mostram que a quantidade de pessoas que é permitida atualmente para a ocupação concomitante do edifício do Museu Histórico confere condições para que o abandono total e simultâneo no prédio transcorra em um minuto pela entrada principal, o que sugere um tempo ainda menor para a evacuação feita pelas saídas mais próximas. Elevando-se o total de pessoas no interior da edificação simultaneamente, em situação normal, tem-se que a saída é realizada em pouco mais de 3 min pela saída mais próxima e mais de 6 min para a saída pelo caminho conhecido. Em situação de emergência a saída de todos os ocupantes do museu ocorre em pouco mais de 2 min, quando a opção é a saída mais próxima ao local que o pedestre se encontra no edifício e mais de 4 min para situação de saída pela entrada principal. Esses tempos são considerados adequados mesmo com o aumento do número de pessoas na edificação. Porém, a restrição da “saída 1” pode trazer perigo às pessoas em casos normais e de uma emergência, visto que, neste panorama, a majoração de pedestres no museu promove aglomerações e interações entre os pedestres.

Em relação à distância total percorrida para esvaziamento da edificação, os valores encontrados são bastante próximos. Observa-se uma pequena diminuição das distâncias em situação normal em relação à situação de emergência. Contudo, há um aumento na distância total de cerca de 23 m para a velocidade normal, em que os ocupantes deixam o prédio pela saída principal, e aproximadamente 17 m para a maior velocidade neste mesmo trajeto comparando-se os cenários com menos e mais pessoas no edifício. Isso mostra que ao aumentar a quantidade de pessoas na mesma planta, criando aglomerações, esses ocupantes fazem pequenos desvios no caminho para alcançar a saída, traçando caminho mais longo.

6.2 TEATRO ÁLVARO DE CARVALHO

Os projetos arquitetônico e de prevenção de incêndio do Teatro Álvaro de Carvalho foram disponibilizados pela diretoria de patrimônio da Fundação Catarinense de Cultura em meio digital. O projeto arquitetônico possui data de junho de 2003 e algumas modificações de layout e arquitetura puderam ser observadas e registradas. O projeto de prevenção de incêndio data de setembro de 2003.

As visitas foram realizadas nas datas de 08 e 17 de fevereiro e 28 de março de 2018, autorizadas pela administração do TAC, tendo sido acessados todos os locais com permanência de ocupantes do edifício e aqueles utilizados para entrada e saída do prédio. Duas visitas foram

realizadas com o teatro aberto à visitação e uma visita no período que antecede um espetáculo com venda total dos ingressos. Com isso puderam ser verificadas todas as rotas de evacuação do edifício, inclusive durante um evento de grande público.

6.2.1 Aspectos históricos e físicos do edifício

O Teatro Álvaro de Carvalho localiza-se na Rua Marechal Guilherme nº 26, no Centro da cidade de Florianópolis / SC e consiste em uma das referências arquitetônicas e culturais da capital do estado. O local conta com palco italiano e reúne 403 espectadores num edifício com quatro pavimentos, sendo eles: plateia, camarotes e balcão, além do subsolo. O edifício abriga também salas técnicas e administrativas e possui 1.658,00 m² de área construída. Tombado em 29 de janeiro de 1988, pelo Decreto Estadual nº 1.304, o teatro é de propriedade do Governo do Estado de Santa Catarina e sua guarda é feita pela Fundação Catarinense de Cultura.

Sua construção foi marcada pela pedra fundamental, datada de 29 de julho de 1857. A sua primeira utilização, se deu em 5 de junho de 1871, mesmo antes de ser concluída a obra. O teatro foi inaugurado, com a presença de mais de mil pessoas, em 7 de setembro de 1875. Teve seu primeiro nome Teatro Santa Isabel (Figura 41) em homenagem à Princesa Isabel e em 2 de julho de 1894, uma resolução alterou este nome em homenagem ao primeiro dramaturgo catarinense, Álvaro Augusto de Carvalho. A construção de um prédio público voltado ao lazer e “destinado à educação e cultura, a relação entre o tempo livre do cidadão e as perspectivas que oferecem” era raro no período colonial (VEIGA, 2010, p. 219). A reforma mais significativa, em 1955, deixou pouco da antiga estrutura, trazendo características ecléticas ao edifício (FCC, 2018). Na cobertura foram substituídas linhas, frechais e telhas e a balaustrada aumentada para todo o perímetro, como visto na Figura 42. Internamente, foram substituídos forros, refeitas as divisões dos camarotes e pintura. Foi construída a escada que dá acesso à galeria, tornando isolado o acesso aos camarotes e salas (VEIGA, 2010). Em 1975 e 1984 o edifício recebeu melhorias em instalações técnicas-ambientais (SERPA, 2009).

Figura 41 - Antigo Teatro Santa Isabel, c. 1880.



Fonte: VEIGA, 2010, p. 403.

Figura 42 - Teatro Álvaro de Carvalho atualmente.



Fonte: Da autora.

O TAC recebe visitas diárias e é local de espetáculos quase diariamente. São apresentadas peças de teatro, musicais, especiais, tanto para o público adulto, quanto para o infantil. No ano de 2017, realizou 197 sessões sendo 175 para adultos e 22 para crianças, com um público total de quase 37 mil pessoas. Nas Figuras 43 e 44 mostra-se o interior do teatro atualmente.

Figura 43 - Plateia, camarotes e balcão.



Fonte: Da autora.

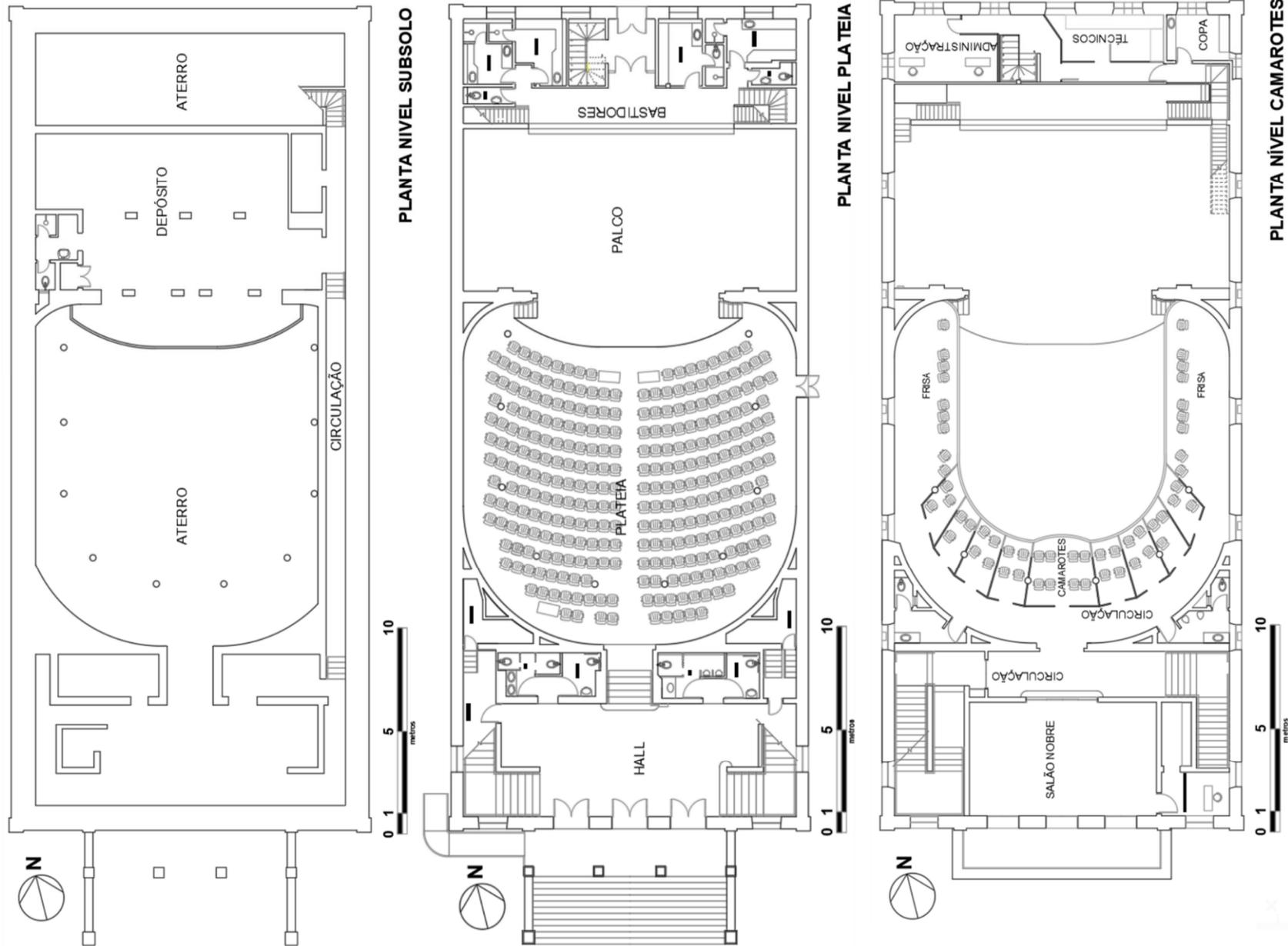
Figura 44 - Palco do TAC.



Fonte: Da autora.

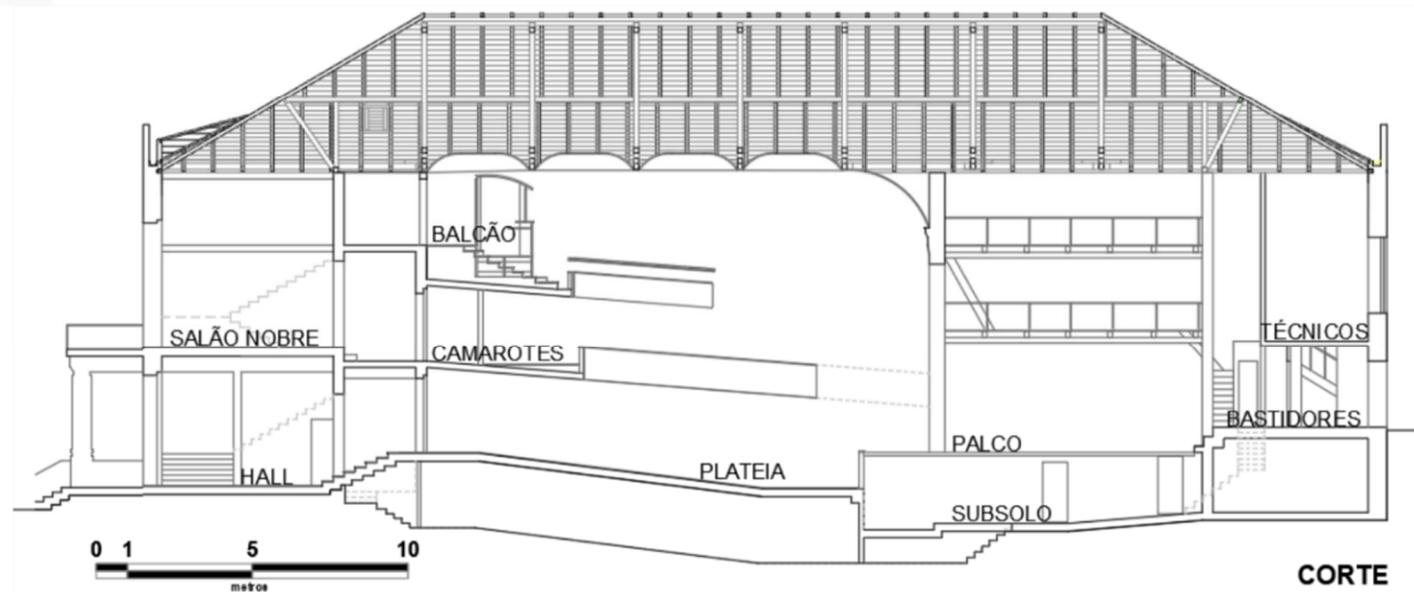
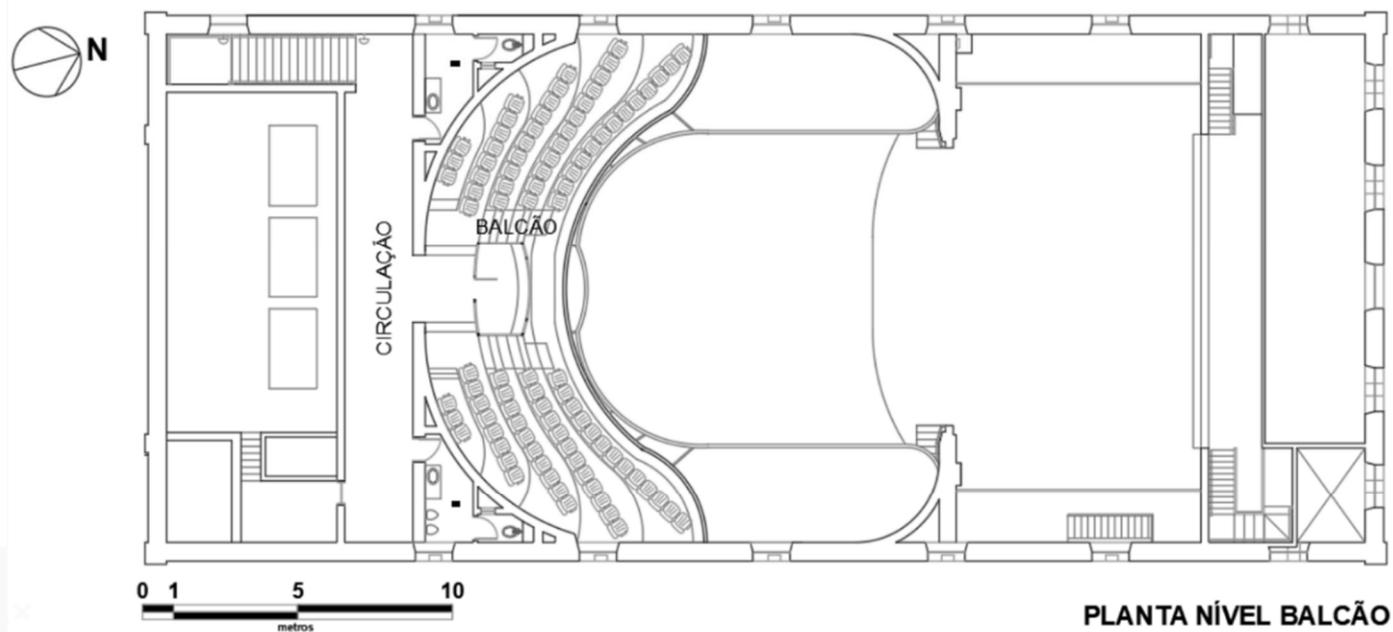
O edifício faz divisa, na sua fachada principal, com a Rua Marechal Guilherme, na lateral leste, com a Rua dos Ilhéus, nos fundos com a Rua Santos Dumont e na lateral oeste com estacionamento público. Sua cobertura em quatro águas com estrutura de madeira e telhas cerâmicas, possui alvenaria autoportante em pedra argamassada. As esquadrias são em madeira, assim como, seus pisos e forros das áreas do espetáculo e plateia. Já o piso do hall e das circulações, incluindo escadarias, são em mármore. As plantas baixas e corte são apresentados na Figura 45.

Figura 45 - Plantas baixas e corte do TAC (continua).



Fonte: FCC, 2003.

Figura 45 - Plantas baixas e corte do TAC (conclusão).



Fonte: FCC, 2003.

No pavimento térreo, o hall / *foyer* é acessado por uma escadaria em pedra e varanda com pórtico protegendo as três portas de acesso. Uma rampa metálica, localizada à esquerda da entrada principal, permite a acessibilidade desta entrada. No hall / *foyer* localizam-se os acessos à plateia, por escada e por uma plataforma de acesso a cadeirantes, e às duas escadas laterais que dão acesso ao balcão e aos camarotes, além de acesso ao subsolo do teatro. No hall encontram-se: bilheteria, mesa do segurança, acessos aos dois banheiros do térreo e entrada para sala dos seguranças. A plateia, composta de 297 lugares divididos em 294 poltronas do tipo rebatíveis e 3 espaços para cadeirantes, preenche um piso inclinado em toda sua extensão. As 14 fileiras são divididas em duas alas, com acessos pelas laterais e por uma circulação central. Em meio às poltronas encontram-se dez colunas que fazem a sustentação dos níveis superiores, sendo que quatro delas estão desalinhadas em relação às fileiras das poltronas, restringindo em alguns centímetros os espaços de circulação vizinhos a elas. O local possui, além da escada de acesso ao hall, uma saída composta por duas portas de giro de duas folhas na sua lateral direita que faz ligação direta com o passeio da Rua dos Ilhéus e duas escadas de acesso ao palco. A saída dos fundos do teatro, que dá para o passeio da Rua Santos Dumont, através dos bastidores por uma circulação e duas portas de giro de duas folhas. Ao longo do comprimento de todo o palco encontra-se uma escada de três degraus dividindo a área de apresentações dos bastidores. Nas duas laterais do palco encontram-se as coxias, local de entrada em cena do espetáculo e onde permanecem alguns tecidos cênicos rebaixados ao nível do palco. Nos bastidores encontra-se: quatro camarins e dois banheiros e as escadas das varandas cênicas e a que leva ao nível do subsolo. Da circulação dos fundos do teatro são acessados, através de escada, o nível superior dos camarins. Ali estão a sala dos técnicos, uma copa e duas salas destinadas à administração do teatro, que se encontram atualmente sem uso.

No subsolo encontram-se a casa de máquinas e a área de movimentação do palco, utilizada como área de apoio de manutenções e limpeza. Esses ambientes são acessados pelo corredor que percorre toda a extensão do edifício, fazendo a conexão entre o hall do teatro e os bastidores.

O nível superior, onde se encontram os camarotes, é acessado pela escada lateral direita ao hall. Uma circulação separa as rampas que interligam os camarotes e o salão nobre do teatro. O salão nobre é utilizado para eventos fechados como coquetéis e exposições e tem acesso restrito a esses eventos. Durante os espetáculos sua porta em duas folhas fica fechada ao público. Do salão nobre se chega à varanda por três portas

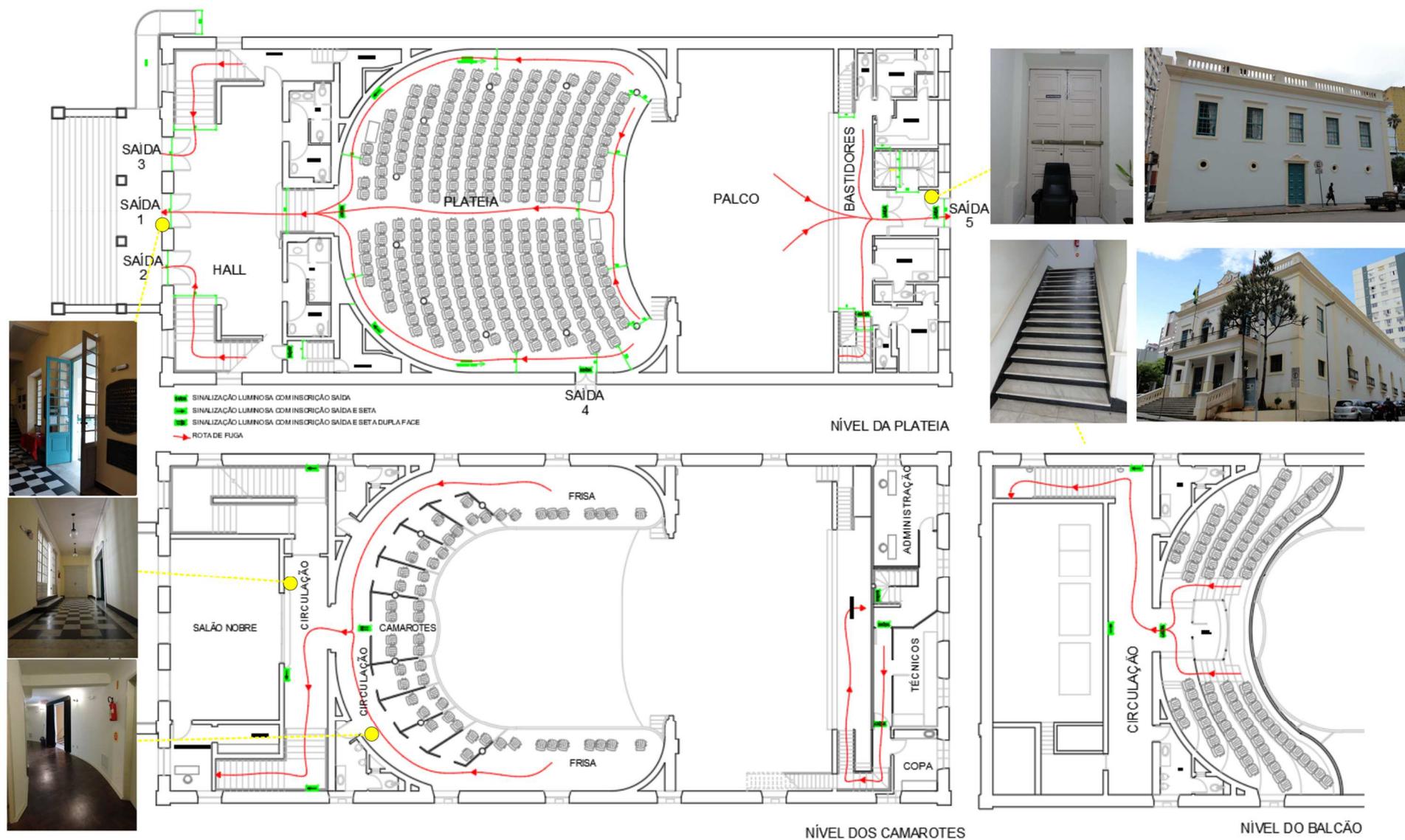
que compõem a fachada principal, semelhantemente às portas do nível térreo. Também por esse ambiente são acessados uma sala de apoio, onde atualmente está a administração do teatro e um depósito. Neste pavimento existe outra porta de acesso à escadaria esquerda do teatro, que fica permanentemente fechada, seja nos espetáculos ou nos dias de visitação. Esse fato restringe o percurso realizado até os camarotes e salão nobre que se dá exclusivamente pela escadaria direita do teatro, enquanto o percurso até o balcão é feito somente pela escadaria esquerda do edifício. Neste nível encontram-se dois banheiros de uso dos espectadores. Os camarotes, em número de nove, são divididos por uma porta de giro abrindo à circulação, e as frisas formam espaços abertos mais próximos do palco. Todos possuem cadeiras ao invés de poltronas fixadas ao chão, como nos demais espaços de público. O projeto preventivo de incêndio aponta capacidade para 79 lugares, contudo foram observados 54 lugares durante as visitas. O camarote principal, que tem seu uso exclusivo ao governador do estado, possui seis lugares. Os demais se dividem em seis camarotes com quatro lugares e dois com três lugares. As frisas possuem nove lugares cada e possuem desníveis em seu piso formando degraus de pequena altura.

No último nível, conduzido desde o hall pela escadaria esquerda do teatro, localizam-se a circulação de acesso ao balcão, o acesso ao telhado do teatro, onde estão localizadas as centrais de ar condicionado com acesso restrito para manutenções, dois banheiros de uso do público, a sala técnica de som e luz e as poltronas que servem ao público. O projeto preventivo de incêndio aponta capacidade para 123 lugares, no entanto, foram observados 92 lugares. Todas as poltronas desse nível são alcançadas por degraus de escada, sendo cinco o número de níveis do balcão e assentos divididos em duas alas sendo, à esquerda: treze lugares no nível mais afastado do vão de acesso, doze lugares no nível acima deste, dez lugares no nível subsequente, oito lugares no penúltimo nível e três lugares no nível mais alto do balcão e mais próximo do vão de acesso. A mesma divisão de lugares é observada no lado direito do balcão.

6.2.2 Rotas de fuga

A sinalização das rotas de fuga presentes na edificação está de acordo com o projeto preventivo e conduz os ocupantes da edificação tanto pela porta principal do edifício quanto pelas saídas alternativas. A representação das rotas e sinalização de saída estão apresentadas na Figura 46.

Figura 46 - Rotas de fuga do Teatro Álvaro de Carvalho.



Fonte: Adaptado de DEOH, 2003.

As pessoas que se encontram no balcão têm o caminho da evacuação do edifício pela circulação desse pavimento e pela “escadaria 3” à esquerda do teatro. Essa escadaria encaminha os ocupantes ao hall do teatro por 47 degraus descontinuados por 4 patamares, onde a “saída 2” é utilizada. Aqueles que se encontram no nível dos camarotes fazem a saída pela circulação dos camarotes que os leva até a “escadaria 2” à direita do edifício, composta de 25 degraus e 2 patamares utilizando-se da “saída 2”. Os espectadores presentes na plateia possuem duas saídas possíveis: a principal, “saída 1”, no hall e a secundária, “saída 4”, presente na lateral direita da edificação que a conecta à rua lateral. Foi constatado que essa saída possui duas portas que se encontram obstruídas por travas de madeira e trincos metálicos, sendo necessária a sua desobstrução para possibilitar a saída em caso de emergência. Os ocupantes do palco, bastidores, camarins e áreas técnicas podem fazer a saída pela porta de emergência dos fundos do teatro, sendo conduzidos diretamente à rua dos fundos, pela “saída 5”. Contudo, esta porta também se encontra obstruída por trava e trinco metálicos. Os ocupantes do hall de entrada têm acesso desobstruído às portas principais da edificação, a “saída 1”. As saídas alternativas para quem se encontra na área do palco são pela plateia, ou pela circulação do subsolo, que conduz o ocupante até o hall de entrada.

Teve-se a possibilidade de fazer a observação no teatro antes de um espetáculo. Durante a entrada dos espectadores no Teatro Álvaro de Carvalho pôde-se constatar a fluidez no deslocamento das pessoas dentro do teatro. Não havia interações entre as pessoas durante o deslocamento até a poltrona. Isso se deve, em grande parte, à entrada ser bastante controlada pelos funcionários que fazem o controle de entrada manual dos ingressos e ingressantes (Figura 47). A modalidade de lugares era livre, de acordo com a chegada, o que aponta a motivação da equipe organizadora de realizar a entrada de maneira espaçada entre as pessoas, para não haver confusão e aglomerações nas entradas e escadas, como se percebe na Figura 48. Por isso não pode ser visualizada a interação entre os ocupantes do teatro.

Figura 47 - Entrada dos espectadores pela escada da plateia.



Fonte: Da autora.

Figura 48 - Acesso dos espetadores pela escadaria esquerda.



Fonte: Da autora.

Figura 49 - Ocupantes do TAC antes do espetáculo.



Fonte: Da autora.

Outro ponto observado é a largura do espaço entre fileiras, que faz com que as pessoas já sentadas precisem se levantar para que outras ocupem os lugares vazios. Na circulação frontal da plateia foi observada uma cadeira e caixas que podem trazer dificuldade em uma evacuação, pois restringem a área de circulação existente (Figura 49). Um dos espectadores observados que utiliza um veículo motorizado devido a sua mobilidade reduzida, ocupou um dos locais destinados a cadeirantes, na primeira fileira.

6.2.3 Ocupantes

O número de ocupantes da edificação e como eles se distribuem nos espaços é de extrema importância para o estudo da evacuação segura, tanto para aplicação da IT nº 35/2017 quanto para a simulação computacional. Por isso, foram observados os ocupantes de cada ambiente e será considerado no estudo o cenário com maior número de ocupantes. No TAC, como já descrito anteriormente, foram observados 443 lugares divididos em 297 poltronas e 3 locais para cadeirantes na plateia, 54 assentos no nível dos camarotes e 92 no nível do balcão.

Com relação à quantidade de pessoas que promovem espetáculos, sendo elas artistas e equipe de produção, não se têm dados, mas este número pode variar consideravelmente para cada modalidade de evento. Para efeito de estudo, será arbitrado o número de dez pessoas envolvidas em um momento de espetáculo, ocupantes das áreas do palco, bastidores e camarins. Também são contabilizados os ocupantes das áreas técnicas do teatro, durante os espetáculos. Dois técnicos na cabine de som e luz, um técnico na varanda cênica, três técnicos de imagens junto ao palco e outros três profissionais da FCC no hall de entrada, fazendo a coleta de entradas e organização do evento. Também no hall podem ser observados um segurança militar e uma pessoa na bilheteria. Em horário comercial, em que o teatro se encontra aberto para visitação e não para espetáculos, o TAC conta com duas pessoas na sala de apoio junto ao salão nobre, sendo elas a administradora e uma funcionária, cinco técnicos presentes na sala de técnicos no segundo andar dos camarins, um guarda militar no hall de entrada, um ocupante da bilheteria e um zelador.

Foi contabilizado para este trabalho um total de 473 pessoas ocupando o edifício ao mesmo tempo sendo essa a situação de maior número de pessoas concomitantes no teatro. A maioria de ocupantes eram eventuais, que não conhecem o espaço, característica que torna fundamental a correta e eficiente sinalização de segurança e a desobstrução das saídas de emergência.

6.2.4 Medidas de proteção existentes

Todas as medidas de segurança determinadas pelo projeto de segurança contra incêndio encontram-se implantadas nos espaços do teatro, sendo elas: extintores de incêndio, abrigos de mangueira de hidrante, placas de sinalização de saída de emergência, luminárias de emergência, local da central e pontos de acionamento do alarme de incêndio e detectores ópticos de fumaça. A altura em relação ao piso e

espaçamentos dos corrimão e guarda-corpos do edifício encontram-se dentro da especificação do projeto.

Quanto à manutenção desses equipamentos e componentes de segurança contra incêndio, pode-se observar que: os extintores encontram-se dentro da data de validade e pressurização adequados, as luminárias de emergência possuem ligação à rede elétrica, bem como os pontos de acionamento de alarme possuem indicação de luz de funcionamento adequado. Quanto às saídas de emergência foi observado que as saídas frontais, realizadas pelas portas principais, num total de três, encontravam-se fechadas de forma simples e desbloqueadas durante o uso do teatro, estando de acordo com o projeto de prevenção de incêndio. Contudo, a saída de emergência secundária lateral, “saída 4”, que é composta de duas portas de giro de duas folhas e está localizada no andar térreo, permaneceu com a porta mais externa fechada por uma tranca horizontal de madeira, conforme mostra a Figura 50. Para abri-la, o usuário do edifício deve erguer a trava de madeira que bloqueia a porta, apoiá-la ao lado da porta e destravar os trincos metálicos superior e inferior que trancam uma das folhas dessa porta.

Figura 50 - Porta travada da Saída 4.



Fonte: Da autora.

Figura 51 - Rota de fuga do palco.



Fonte: Da autora.

Semelhante situação foi observada na porta da saída de emergência dos fundos do teatro (Figura 51). Esta não pôde ser examinada durante o espetáculo, porém, nas demais visitas, foi verificado que esta porta também possui uma trava de madeira horizontal e um trinco metálico travando uma das folhas da porta. Além disso, a saída de emergência dos fundos possui duas portas de madeira de duas folhas, divididas por uma

circulação com 2,50 m de comprimento, criando uma antessala no caminho de abandono do edifício.

As placas de saída de emergência encontram-se de acordo com o projeto de prevenção de incêndio.

6.2.5 Exceções frente às exigências das normas prescritivas junto ao patrimônio

A edificação do Teatro Álvaro de Carvalho passou por várias intervenções ao longo do tempo, como já descrito no item 6.2.1 deste trabalho. Frente às exigências do projeto de prevenção de incêndio da edificação foram verificados alguns pontos que serão aqui apresentados:

- a) guarda-corpos: os guarda-corpos dos níveis superiores, tanto dos camarotes quanto do balcão foram acrescidos de um tubo circular de ferro para aumentar a altura total do guarda-corpo, ficando com um total de 110 cm;
- b) saídas de emergência: de acordo com a norma NBR 9077, as saídas que possuem folhas com abertura voltadas para dentro, devem garantir uma largura efetiva de pelo menos 1,65 m em locais de reunião de público e suas folhas, quando abertas a 90° do vão, não devem sobressair mais que 10 cm em relação a parede do recesso. Contudo, as portas da saída de emergência principal possuem abertura voltadas para dentro formando um ângulo de 90° em relação ao vão e suas folhas criam um obstáculo de 36 cm em relação ao recesso da parede. A porta da saída de emergência secundária, localizada na lateral direita da plateia, possui 100 cm de abertura;
- c) acessos: conforme estabelecido nas normas, devem ser de escoamento fácil de seus ocupantes e com a largura mínima exigida. O acesso dos ocupantes do nível do balcão é o mais prejudicado. As poltronas ocupam a maior parte dos patamares existentes e o espaço para circulação entre as poltronas fica entre 26 e 28 cm, como mostram as Figuras 52 e 53. Esse espaço é suficiente para acomodar as pernas do espectador, porém é insuficiente para a circulação das pessoas entre as fileiras, quando outras pessoas ocupam as poltronas vizinhas. Em uma saída, em situação normal ou de emergência, os ocupantes das fileiras do balcão só podem sair se a pessoa a sua frente na linha de evacuação tiver se deslocado, criando uma forma enfileirada de saída.

Figura 52 - Poltronas do nível balcão.



Fonte: Da autora.

Figura 53 - Detalhe do espaço entre as poltronas do nível balcão.



Fonte: Da autora.

A plateia possui pontos de difícil passagem em poucos locais. O espaço entre fileiras varia de 49 a 58 cm de espaço livre para circulação com o assento levantado. Em dois locais esse espaço é diminuído pela presença das colunas de sustentação dos pavimentos superiores que se encontram desalinhadas em relação à fileira de poltronas, restringindo o espaço de circulação, mesmo as poltronas sendo do tipo rebatível, como mostra a Figura 54. As colunas também restringem o espaço de passagem na circulação em frente do palco, tanto do lado direito como do esquerdo, deixando uma circulação de 65 cm livre. Na Figura 55 pode-se perceber essa circulação diminuída ao lado esquerdo da plateia junto ao palco.

Figura 54 - Restrição de circulação entre fileiras.



Fonte: Da autora.

Figura 55 - Restrição de circulação em frente ao palco.



Fonte: Da autora.

Outro ponto a ser observado, que pode trazer alguma dificuldade nos deslocamentos de evacuação do teatro são: no palco, quando em momentos de espetáculo, uma lona que ocupa quase todo o comprimento do palco permanece esticada entre o piso e teto do teatro de forma a dividir os espaços entre o palco e os bastidores. A Figura 56 mostra essa lona num momento que ela estava parcialmente enrolada. Esse anteparo cria um obstáculo no trajeto da evacuação entre o palco e a saída de emergência localizada nos fundos do teatro.

Figura 56 - Lona cênica entre palco e bastidores.



Fonte: Da autora.

Figura 57 - Cortinas nos acessos da plateia ao hall.



Fonte: Da autora.

Figura 58 - Cortinas nos acessos da plateia ao hall fechadas.



Fonte: Da autora.

No vão de saída da plateia para o hall existem duas cortinas, mostradas nas Figuras 57 e 58, que permanecem fechadas desde instantes antes do início do espetáculo até o seu término, tendo como finalidade o bloqueio da luz advinda do hall. As duas cortinas, uma no vão junto à plateia e a outra no vão junto ao hall, criam um impedimento da visualização antecipada dos degraus que formam esta rota de fuga. Percebe-se também que a cortina se configura como um obstáculo, criando a dificuldade da saída imediata em caso de evacuação emergencial.

6.2.6 Aplicação da Instrução Técnica nº 35/2017 (2ª Edição)

A aplicação da Instrução Técnica nº 35/2017 (2ª Edição) – Segurança contra incêndio em edificações que compõem o patrimônio cultural, já explicada no item 6.1.6 desse trabalho é detalhada a seguir.

6.2.6.1 Medidas de segurança

Primeiramente foram aplicadas as determinações quanto aos parâmetros para dimensionamento das medidas de segurança contra incêndio e pânico referentes à evacuação segura de pessoas no objeto estudado. Foram determinadas as características físicas do objeto, resumidas na Figura 59:

Figura 59 - Resumo das características do edifício estudado - TAC.



Fonte: Elaborado pela autora.

a) o grupo é determinado pela ocupação do edifício, conforme prescreve o Regulamento de Segurança Contra Incêndio e Pânico nas edificações e áreas de risco no Estado de Minas Gerais nas situações em que há uma aceitável uniformidade na sua distribuição espacial;

b) a altura (H) é determinada pela sua posição em relação ao nível de descarga;

c) a população foi calculada, neste trabalho, por meio de coleta de dados;

d) a área é igual à área total construída da edificação.

Ao Teatro Álvaro de Carvalho foram aplicadas as medidas determinadas na tabela 1 da IT n° 35/2017, apresentada no Anexo B deste trabalho. As medidas de segurança exigidas a cada objeto são mínimas e devem ser aplicadas a todas as edificações tombadas. Os parâmetros de segurança foram resumidos no quadro do Apêndice A.

Quanto ao “controle de materiais de acabamento e revestimentos”, entende-se que o TAC não possui o controle especificado na instrução uma vez que não consta no projeto de segurança contra incêndio essa informação. Quanto à “iluminação de emergência”, o edifício atende a instrução técnica, porém ressalta-se que foram feitas observações quanto ao posicionamento correto dos blocos autônomos. Contudo, não foram acionadas as instalações para verificação de sua efetiva intensidade. Quanto às “saídas de emergência”, a instrução técnica subdivide em sete itens:

a) o edifício possui “rotas de fuga que conduzem a população a um local seguro, preferencialmente ao ar livre, no nível do solo”;

b) quanto a “largura das saídas de emergência”, sendo essas escada, rampas e corredores, foram observadas passagens de menos de 80 cm entre a primeira fileira da plateia e o palco;

c) quanto aos itens “acessos”, o objeto atende as especificações mínimas;

d) quanto ao “número de saídas nos pavimentos e descargas” o objeto atende as especificações mínimas;

e) o TAC não atende ao item “portas nas rotas de fuga”, pois as portas que abrem em sentido contrário ficam fechadas e não possuem sinalização previstas na IT nº 15 - Sinalização de emergência. Essas portas de saída deveriam possuir barra antipânico, contudo possuem travas de madeira que permanecem fechadas durante o seu funcionamento;

f) quanto aos “corrimões e guarda-corpos”, o TAC atende ao item da instrução técnica;

g) quanto ao item “escadas / rampas”, o TAC atende a IT.

Quanto ao item “sinalização de emergência”, faltam as sinalizações previstas na IT nº15 e descritas no item “portas nas rotas de fuga”. O teatro atende ao item “extintores”, porém não possui “brigada de incêndio”. Quanto ao “plano de intervenção de incêndio”, o teatro não possui um planejamento que priorize as ações na ocorrência de uma emergência. O edifício atende ao item “alarmes de incêndio”. O TAC possui “detectores de incêndio” do tipo detectores de fumaça óptico nos depósitos e junto a máquinas de ar condicionado localizadas no forro. Quanto aos “hidrantes e mangotinhos” o edifício atende ao item.

Avalia-se que o Teatro Álvaro de Carvalho possui a maior parte das exigências mínimas prescritivas. Mesmo frente às características físicas do prédio tombado, o edifício foi atualizado nas alturas mínimas do guarda-corpo do balcão e a sinalização de saída de emergência se faz presente em todos os ambientes. Contudo, as portas de saídas de emergência com travas são avaliadas como um ponto de grande atenção em se tratando da segurança dos ocupantes. Em momento de pânico, gerado numa possível situação de emergência, esse fato pode levar a inoperabilidade da abertura das portas e consequente aumento da dificuldade do abandono do local. A brigada de incêndio é item de auxílio importante, visto que a população visitante do teatro, assim como no museu, é um público eventual e que a presença de pessoal treinado para conduzir a evacuação promove a melhora significativa quanto ao tempo de saída do edifício em segurança.

6.2.6.2 Determinação do risco global de incêndio

Para o Teatro Álvaro de Carvalho também foram determinados os parâmetros de exposição de risco de incêndio, de ativação de incêndio e os fatores de segurança, a partir das observações feitas na edificação. Esses dados foram organizados na tabela do Apêndice C deste trabalho. Para o parâmetro f_1 , que exprime o peso dos fatores de risco associados às características construtivas, foi encontrado o valor igual a 2,0, ou tipo V, pois mesmo apresentando características construtivas que dificultem a propagação do incêndio, o teatro possui pé direito triplo sem compartimentação entre os seus níveis em grande parte de sua área, facilitando a propagação do incêndio. O fator f_2 , referente ao risco associado à grandeza da carga de incêndio, é igual 1,5 obtido pela carga de 876,13 MJ/m² (SERPA, 2009). O parâmetro seguinte refere-se à posição da carga de incêndio, sendo determinado $f_3 = 2,0$. Para o fator f_4 , que se refere ao fator de risco associado à distância do Corpo de Bombeiros, foi encontrado valor de 1,0, pois o teatro distancia menos de 1 km do Corpo de Bombeiros mais próximo. Para o fator de risco associado às condições de acesso, f_5 , determinou-se o valor de 1,0.

O cálculo da ativação de incêndio A , iniciou com a determinação do parâmetro $A_1 = 1,12$, para a natureza da ocupação. O fator seguinte, risco de ativação devido às falhas humanas, foi determinado em $A_2 = 1,75$. Durante a coleta de dados no teatro ocorreram comentários, por parte dos funcionários, sobre a necessidade de treinamentos de incêndio. Para A_3 , que é o risco devido à qualidade das instalações elétricas e de gás da edificação, adotou-se 1,50, pois o teatro possui as instalações elétricas antigas, embutidas na parede e sobre os forros de maneira a trazer perigo à edificação. Como relatado por um funcionário, durante a visita, há entrada de água das chuvas nas tubulações elétricas existentes e descargas elétricas no acionamento das luzes de parte do teatro.

Na determinação dos fatores de segurança, para o valor de S encontrado foi 230,4, devido às medidas de segurança encontradas e já relatadas neste trabalho no item 6.2.2.

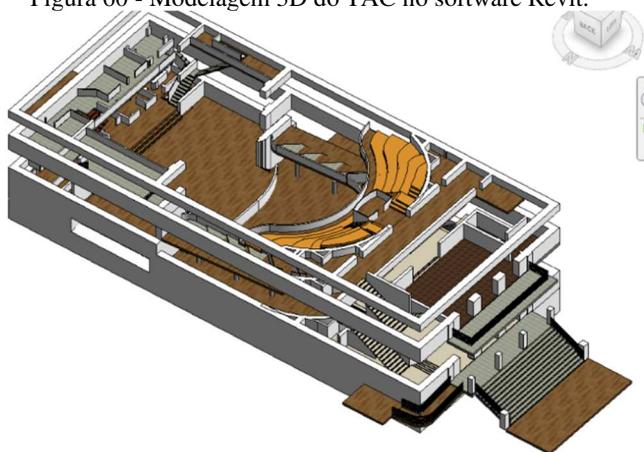
Finalmente, foi encontrado o coeficiente de segurança $\gamma = 19,6$ a partir dos parâmetros levantados e da realização dos cálculos necessários.

Tem-se, por tanto, que o Teatro Álvaro de Carvalho tem a segurança suficiente, quanto a incêndio e pânico, de acordo com este método de avaliação.

6.2.7 Simulação computacional

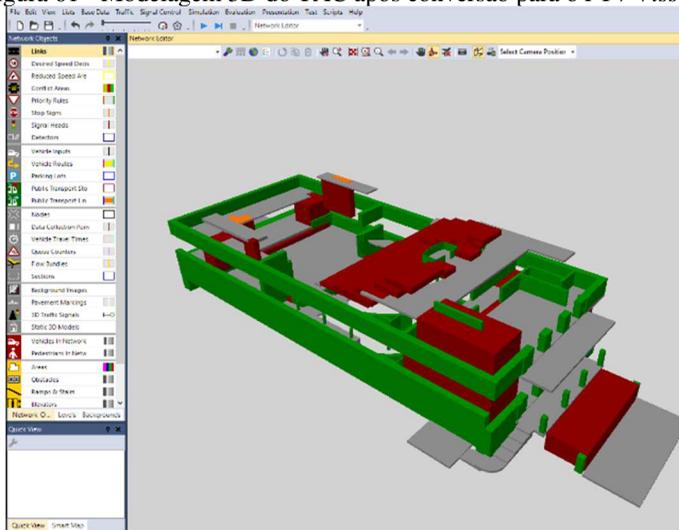
A simulação computacional no Teatro Álvaro de Carvalho não foi possível de ser realizada em tempo para este trabalho. Primeiramente, foi construída a modelagem em três dimensões do teatro considerando suas características espaciais detalhadas quanto às saídas de emergência, conforme as Figuras 60 e 62. Foi utilizado o software Revit (versão 2016) para a construção do modelo baseado nas informações das plantas digitalizadas no software Auto CAD. Foi feita a exportação do arquivo Revit (extensão *.rvt) para um arquivo IFC (extensão *.ifc), utilizando-se a ferramenta de exportação do software Revit, formato este que é possível importar para o *PTV Vissim*. O arquivo IFC é um tipo de arquivo BIM da sigla de *Building Information Modelling*, ou Modelagem da Informação da Construção. Contudo, quando feita a conversão e leitura do arquivo IFC dentro do programa da PTV, o arquivo perdeu algumas informações de desenho. As informações não lidas são as escadas, construídas com ferramenta *Stairs* no Revit e os pisos inclinados, que foram construídos com a ferramenta *Floor*. Como mostrado nas Figuras 61 e 63, as escadas, após a conversão, foram representadas por blocos vermelhos e os pisos inclinados não aparecem, pois não foram convertidos.

Figura 60 - Modelagem 3D do TAC no software Revit.



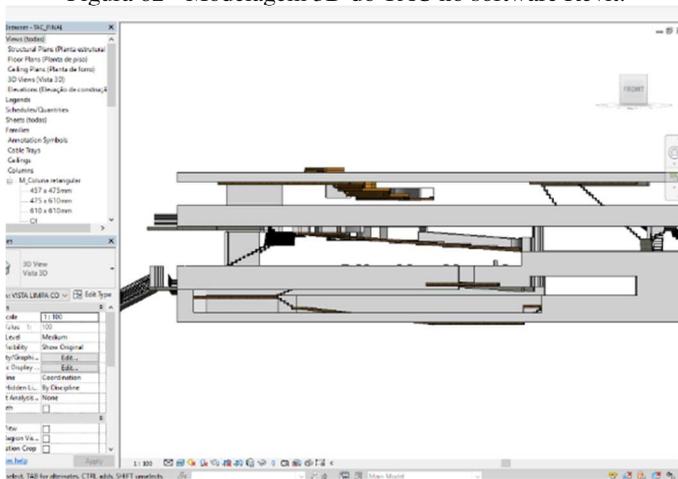
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 61 - Modelagem 3D do TAC após conversão para o *PTV Vissim*.



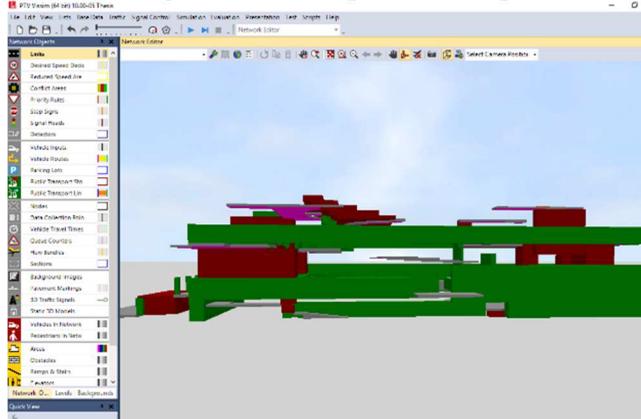
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 62 - Modelagem 3D do TAC no software Revit.



Fonte: Da autora.

Figura 63 - Modelagem 3D do TAC após conversão para o *PTV Vissim*.



Fonte: Da autora.

Tentou-se fazer correções dentro do software da PTV para a construção correta desses elementos, pois sem eles a simulação não é possível de ser realizada. Existem, no *PTV Vissim*, ferramentas de construção de rampas e escadas, porém o piso inclinado dos pavimentos do teatro possui linhas curvas em formato de ferradura e, dentro do programa PTV, somente é possível construir rampas retangulares, o que inviabilizou essa forma de correção da modelagem.

Foram feitos contatos com alguns especialistas em BIM, além de auxílio do suporte do *PTV Group* e do fórum da Autodesk. Todavia, não se teve solução para os erros que ocorreram na importação do arquivo até o final deste trabalho.

Outra tentativa de construção da modelagem em três dimensões foi a partir das plantas do software Auto CAD, como realizado no MHSC. Nesse modo, faz-se a importação dos pisos planos, paredes e demais obstáculos e a construção das escadas e rampas é feita dentro do PTV. O Teatro Álvaro de Carvalho possui planta e layout bastante específico, com piso inclinado em dois dos seus três pavimentos e paredes e pilares formando obstáculos dentro dessas áreas inclinadas. Para o software PTV esse modelo de construção do ambiente de simulação não é permitido, bem com a locação de pessoas nessas rampas, ou pisos inclinados. Para a viabilização da simulação o ambiente deveria ser construído de uma forma que descaracterizaria quase completamente a singularidade do edifício. Entende-se que a simulação realizada nesta planta alternativa traria resultados irreais comprometendo o estudo.

Com a construção da modelagem realizada e com o conhecimento dos erros ocorridos, é possível a busca pela solução em um trabalho futuro, possibilitando a execução da simulação computacional de evacuação para este objeto de análise.

6.3 COLÉGIO CATARINENSE

Os projetos arquitetônico e de prevenção de incêndio do Colégio Catarinense foram disponibilizados pela diretoria de patrimônio do colégio em meio digital. O projeto arquitetônico possui data de revisão de junho de 2017 e mesmo sendo bastante recente, puderam ser observados alguns aspectos arquitetônicos e de layout diferentes do projeto e que foram corrigidos pontualmente. Já o projeto de prevenção de incêndio data de novembro de 2007 e encontra-se em atualização devido a algumas melhorias de espaço previstas.

As visitas foram realizadas em 21 de dezembro de 2017, 06 de fevereiro e 02 de março de 2018 e foram acessados todos os locais do edifício principal em que há permanência de ocupantes, além daqueles utilizados como entrada e saída do prédio. Duas visitas foram realizadas fora do calendário letivo e uma visita após o início do período escolar. Com isso puderam ser verificadas todas as rotas de evacuação do edifício, inclusive com os ocupantes durante um dia normal de atividades escolares.

6.3.1 Aspectos históricos e físicos do edifício

O prédio do Ginásio Catarinense, construído em 1926, é um rico exemplar da arquitetura escolar do estado e estabelece em definitivo a presença jesuítica na Ilha de Santa Catarina. Localizado na Rua Esteves Junior, nº 711, tem sua proteção garantida pelo município de Florianópolis através do Decreto Lei Municipal nº 270, de 30 de dezembro de 1986. O Colégio Catarinense é composto de dez edifícios divididos em mais de 5.300 m² de terreno urbano, composto de igreja, prédio principal, quadras de esporte, entre outros. O edifício principal, que possui 12.104,19 m², divide-se em quatro andares formados por salas de aula do ensino fundamental, do 6º ao 9º ano, e ensino médio, salas da direção e setores administrativos, biblioteca, laboratórios, entre outros. O conjunto do prédio principal tem capacidade para um total de aproximadamente 1.000 alunos (por turno), cerca de 100 professores e aproximadamente 100 funcionários administrativos e diretivos. Além das atividades letivas, o prédio abriga no terceiro pavimento o Museu do

Homem do Sambaqui ocupando uma área de aproximadamente 889,00 m² de visitação, com um importante acervo arqueológico do Brasil e do exterior (PI ARQUITETURA SC LTDA, 2017).

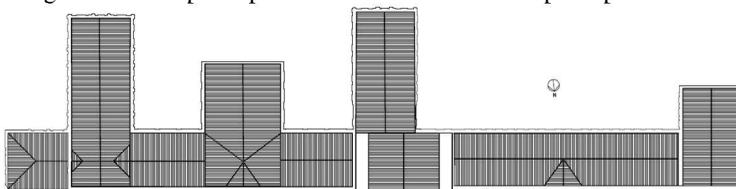
Ocorreram na edificação diversas intervenções ao longo dos anos, como pode ser verificado nas Figuras 64 a 67, sendo sua primeira volumetria dada pelo corpo oeste em toda a sua extensão (Figura 65). Esta porção se identifica, atualmente, pelas coberturas em telha cerâmica (Figura 66). As construções contemporâneas anexas ao edifício principal tombado influenciam direta e indiretamente na evacuação do edifício tombado, portanto, também estão incluídas nesta pesquisa.

Figura 64 - Edifício do Colégio Catarinense em 1929.



Fonte: Fotos Antigas de Florianópolis, 2018.

Figura 65 - Croqui da planta de telhado do edifício principal em 1929.



Fonte: Adaptado de PI Arquitetura SC LTDA, 2017.

Figura 66 - Edifício principal do Colégio Catarinense atualmente.



Fonte: Google Maps, 2018.

Figura 67 - Croqui da planta de telhado do edifício principal atualmente.

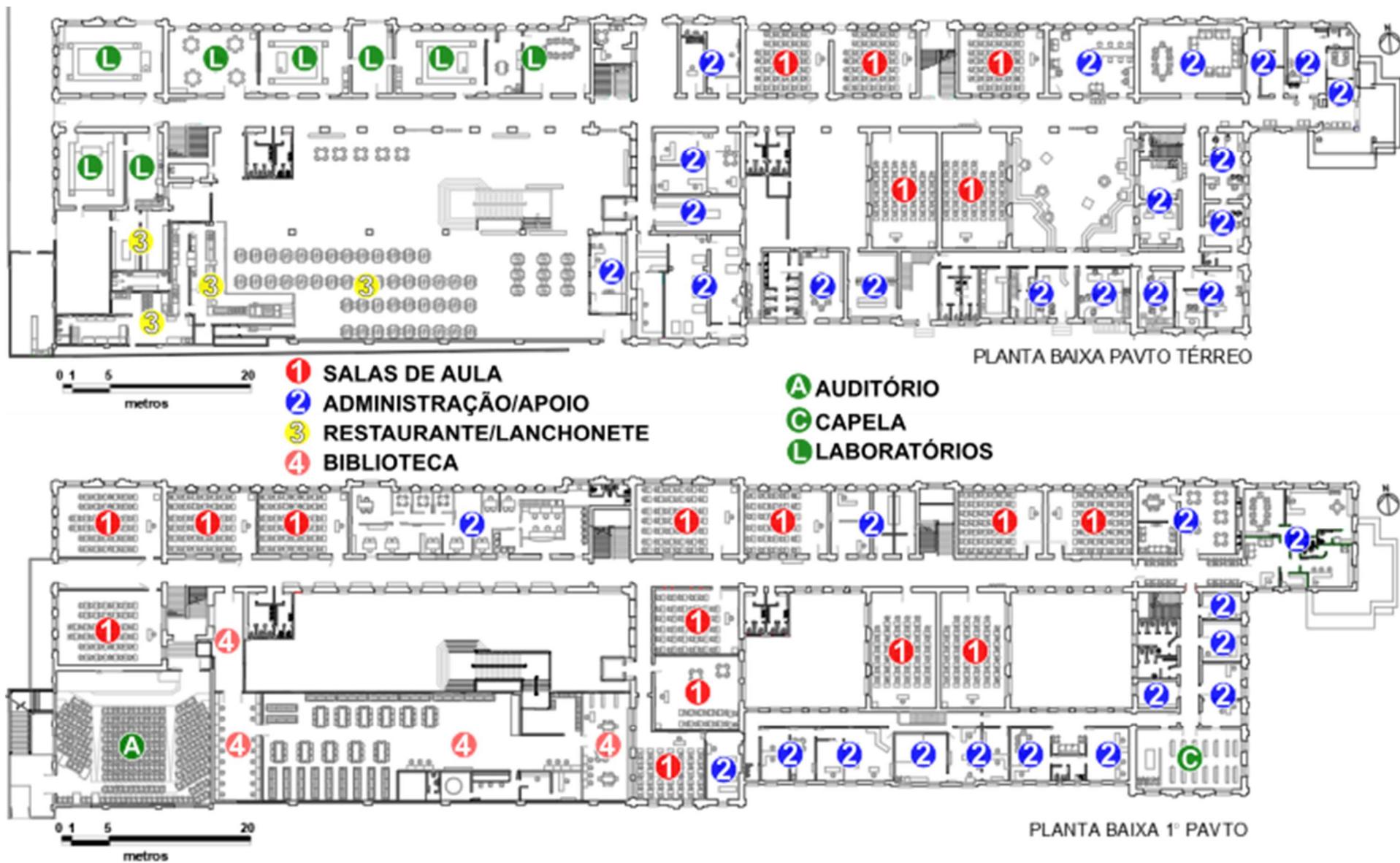


Fonte: Adaptado de PI Arquitetura SC LTDA, 2017.

O prédio principal configura-se, em sua maior parte, com estrutura original de tijolos cerâmicos maciços sobre fundação direta em blocos de pedra e cobertura em estrutura de tesouras de madeira e telhas cerâmicas. Os pavimentos elevados, provavelmente, são em concreto com estrutura de aço, exceto o último pavimento que é composto de estrutura em madeira revestido de assoalho e forro em madeira. A maior parte das janelas da construção da década de 1920 é metálica, enquanto as portas são em madeira. As escadas e demais circulações, incluindo os pátios internos, são revestidos em piso cerâmico, as salas de aula são em piso taboado em madeira, enquanto as salas administrativas são revestidas por laminado de madeira. Os acréscimos construídos na década de 1990 e em técnica construtiva contemporânea são compostos de fundações em sapatas de concreto, estrutura de concreto, paredes em alvenaria de tijolos cerâmicos leves revestidas, janelas em alumínio, portas externas em madeira maciça, internas em madeira laminada e cobertura estruturada em metal com telhas de fibrocimento, exceto nos pátios em que as telhas são de policarbonato.

A frente do colégio é voltada para a Rua Esteves Junior e todas as saídas do prédio principal da escola são voltadas para os pátios externos do colégio. As plantas baixas e corte são apresentados na Figura 68.

Figura 68 - Plantas baixas e corte do Colégio Catarinense (continua).



Fonte: Adaptado de PI Arquitetura SC LTDA, 2017.

Figura 68 - Plantas baixas e corte do Colégio Catarinense (conclusão).



Fonte: Adaptado de PI Arquitetura SC LTDA, 2017.

No pavimento térreo da escola a entrada principal de visitantes é localizada na entrada leste, onde encontra-se a recepção com uma porta de vidro de duas folhas de correr como acesso. A partir desta entrada são dispostas as salas de administração, salas de aula e laboratórios, banheiros e pátios internos ligados por uma circulação que percorre todo o comprimento do pavimento térreo. Pela circulação também são acessados os andares superiores, além das portas externas secundárias: fundos, saída na parte central do edifício e saída junto à “escada 2” que é o acesso principal dos alunos. Os pátios internos fazem a ligação entre o prédio antigo e a construção recente, onde se encontram a lanchonete, o restaurante e as demais salas administrativas do térreo. O segundo e terceiro pavimentos são semelhantes em sua configuração espacial, todos acessados pelas quatro escadas. Possuem auditório, no segundo andar e teatro, no terceiro andar, além de salas de aula, salas administrativas e de apoio, banheiros e laboratórios. O auditório e o teatro possuem, além de suas entradas principais, portas de saída de emergência alternativas, com travamento externo e que possibilita a fácil abertura pelo lado interno. Ambas são voltadas para a parte oeste do edifício.

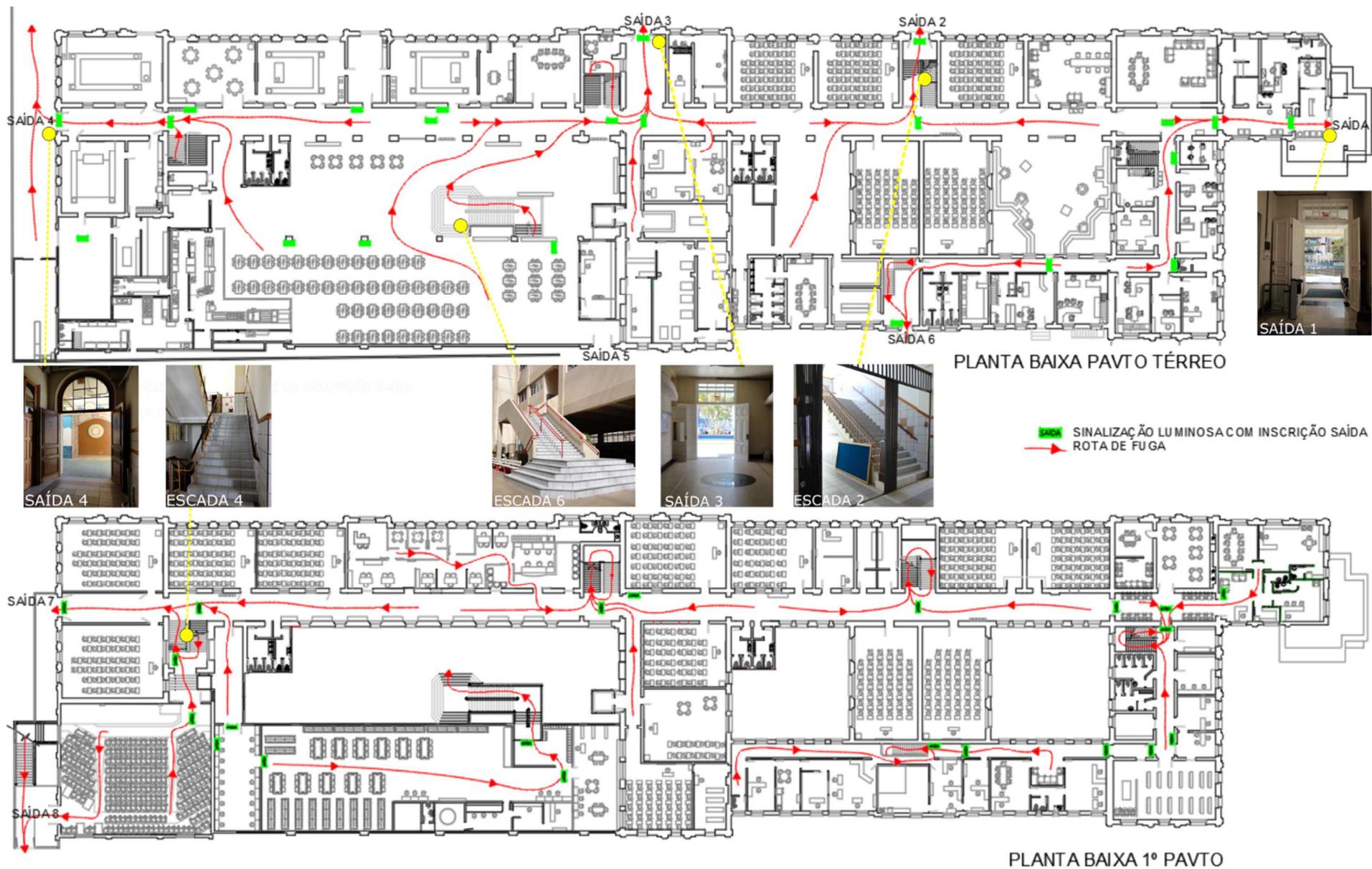
A maioria das portas da construção antiga bem como dos anexos são em madeira, com abertura simples ou dupla, voltadas para o sentido contrário do fluxo de saída.

No andar mais superior encontra-se o Museu do Homem do Sambaqui, que possui acesso por duas escadas e portas em madeira que permanecem abertas durante o período de visitas.

6.3.2 Rotas de fuga

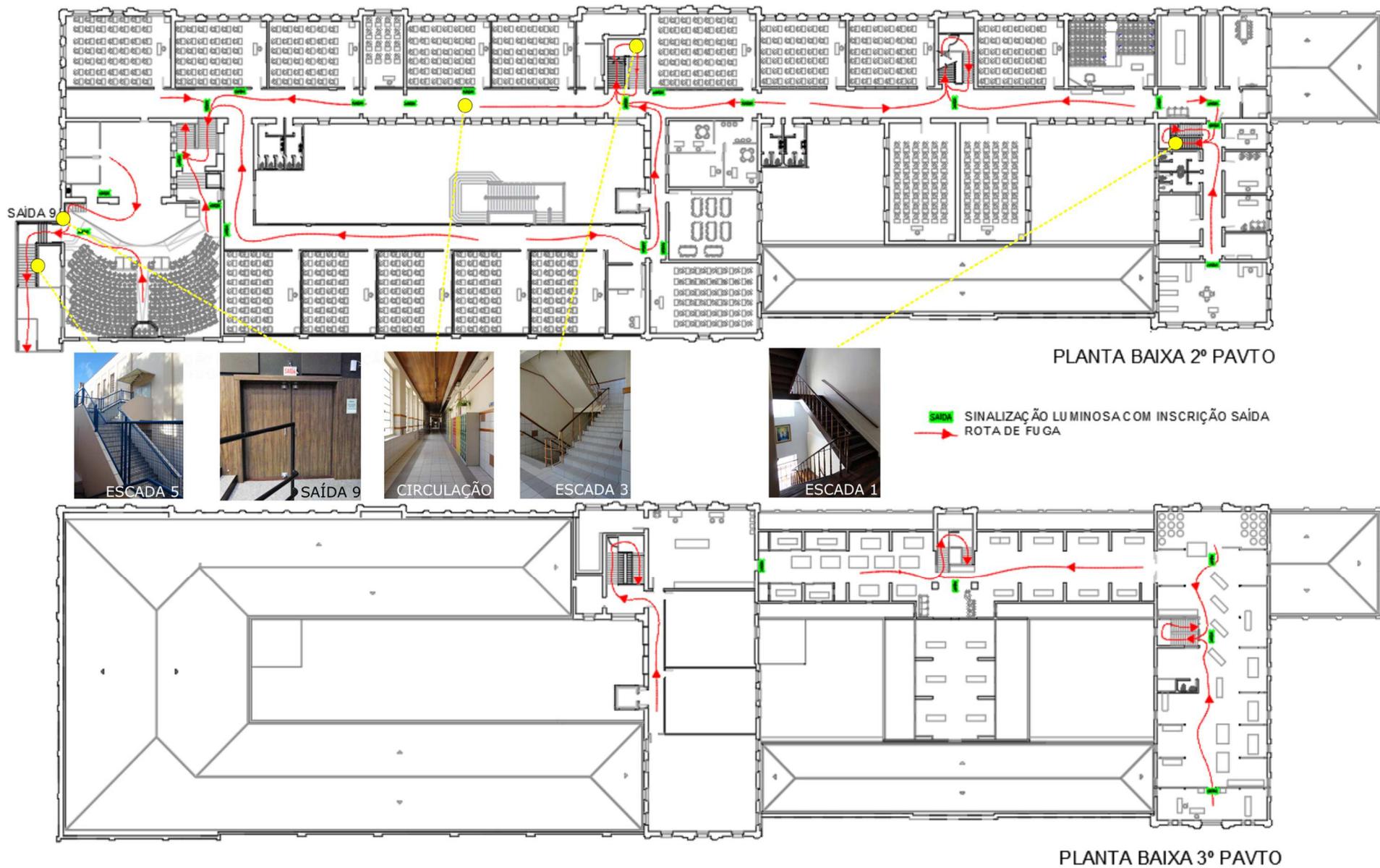
Foram verificadas as rotas de fuga tanto no projeto quanto na sinalização existente na edificação. As dependências localizadas em mezaninos e subsolos são caracterizadas como depósito, ou seja, sem presença de ocupantes e não são consideradas no traço das rotas, representadas nas Figuras 69 e 70, para simplificar a apresentação das plantas.

Figura 69 - Rotas de fuga do térreo e 1º pavimentos do Colégio Catarinense.



Fonte: Adaptado de Saldanha e Fontes Engenharia Ltda, 2007.

Figura 70 - Rotas de fuga do 2º e 3º pavimentos do Colégio Catarinense.



Fonte: Adaptado de Saldanha e Fontes Engenharia Ltda, 2007.

O prédio principal do Colégio Catarinense possui algumas possibilidades de saída de emergência, o que diversifica as opções de evacuação. Como se trata de um prédio com população que conhece seu layout e saídas, pôde-se observar, durante a saída do turno matutino, que os alunos utilizam preferencialmente as escadas e acessos que os conduzem mais próximo à saída desejada.

A saída do museu, que se localiza no andar mais superior, pode ser feita por duas escadas, as “escadas 1 e 2” e as portas que levam a estas escadas permanecem destrancadas durante os horários em que o museu permanece aberto. Com a presença de alunos e professores nas salas de aula do terceiro pavimento, a saída é feita pela “escada 3”.

No segundo andar ficam o teatro e 18 salas de aula. O teatro possui duas saídas: a principal, que é utilizada para a entrada desse ambiente que fica junto a “escada 4” e uma alternativa pela lateral, nos fundos da escola, que possui uso exclusivo de saída de emergência, pois o sistema de abertura desta porta faz com que ela permaneça travada para o acesso do lado de fora mas, para abertura pelo lado de dentro, basta empurrá-la. A chegada ao pavimento de descarga é feita pela “escada 5”, exclusiva dessa saída. As salas de aula da construção contemporânea têm sinalização de fuga pela “escada 4” e pela “escada 3”, dependendo da posição da sala. No corredor principal do pavimento os ocupantes das salas mais próximas ao teatro são conduzidos para a “escada 4”; os que utilizam as salas na porção do meio do prédio utilizam a “escada 3”, enquanto a população das salas próximas ao lado leste da edificação, utilizam a “escada 2” durante uma evacuação. Neste mesmo piso, o abandono das pessoas que utilizam a sala do acervo fotográfico e salas vizinhas é feito pela “escada 1”.

No primeiro pavimento estão o auditório, a biblioteca, a sala da coordenação, a diretoria e as demais salas de aula e salas administrativas. A biblioteca possui a saída de emergência feita pela mesma escada de acesso ao local, a “escada 6”, que é exclusiva para esse local. Contudo, existe uma saída alternativa que pode ser realizada por uma porta que acessa o corredor principal do pavimento, cuja abertura é feita pelo lado de dentro das salas da biblioteca. O auditório, de modo semelhante ao teatro do colégio, possui duas saídas: a principal, que conduz à “escada 4” e uma saída de emergência na lateral do auditório, que acessa diretamente o lado externo do prédio. Do mesmo modo que a saída de emergência alternativa do teatro, essa porta é aberta pelo lado de dentro quando empurrada e permanece trancada para o acesso externo. As rotas de fuga das salas da circulação principal do andar se dividem pelas “escadas 2, 3 e 4”. As salas de direção, capela e salas vizinhas têm sua

evacuação feita pela “escada 1”, enquanto os ocupantes das salas administrativas podem fazer sua saída de emergência pela “escada 7”.

Quando no piso térreo, a condução da população que utiliza cada escada se divide da seguinte maneira: a evacuação da população da “escada 1” é feita pela porta principal da escola, ou “saída 1”, juntamente com as pessoas das salas da porção leste do pavimento; a “escada 2” tem sua saída de emergência conduzida para a “saída 2”, bem como as salas da área junto a esta escada; já a “saída 3” recebe as pessoas que utilizam a “escada 3, a “escada 6”, as salas próximas, bem como os ocupantes do pátio coberto; a “saída 4” conduz, em emergências, os ocupantes do prédio que saem pela “escada 4”, além das salas dos fundos da escola, restaurante e pátio externo; e ocupantes que utilizam a “escada 7” evacuam o edifício pela “saída 6”, juntamente com a saída das salas administrativas do nível térreo. O pátio externo, onde ficam as mesas do restaurante possui uma saída alternativa, a “saída 5”. As demais salas administrativas térreas possuem porta direta à parte externa do prédio. Contudo, nenhuma sala de aula ou laboratório do pavimento térreo tem portas de saída destrancadas para o lado de fora do pavimento, essa saída é feita sempre pela circulação principal do pavimento.

Foi possível realizar uma observação no horário de saída da escola no período da manhã, quando todos os alunos saem num mesmo intervalo de tempo e se deslocam das salas de aula ao pavimento térreo. Por 9 minutos acompanhou-se o movimento desses alunos, que em sua grande maioria, deixou a escola. A interação existente entre os alunos nas escadas e corredores foi considerada normal, como pode ser observado nas Figuras 71 e 72.

Figura 71 - Movimentação dos alunos durante a saída da escola.



Fonte: Da autora.

Figura 72 - Movimentação dos alunos na escada 3.



Fonte: Da autora.

Não foram observados aglomerações ou gargalos. Mesmo nos instantes de maior número de alunos no mesmo local, o fluxo era contínuo

e mostrava-se natural. Isso mostra a forma ordenada que pessoas, mesmo em grande número, apresentam em situação normal de saída. Observaram-se alguns desvios das pessoas em sentido oposto e distanciamento entre os alunos na descida das escadas, momento em que se verificou maior número de pessoas juntas.

A possibilidade de descida por quatro escadas distintas mostra a divisão natural da saída dos alunos. No entanto, notou-se um maior fluxo de pessoas deixando o interior do prédio pela “saída 2”, a mais próxima do portão de saída de alunos, comprovando a familiaridade desses ocupantes com o layout do edifício.

6.3.3 Ocupantes

O número de ocupantes da edificação e como eles se distribuem nos espaços é de extrema importância para o estudo da evacuação segura, tanto para aplicação da IT nº 35/2017 quanto para a simulação computacional. Por isso, foram observados os ocupantes de cada ambiente e horário de maior concentração. Para o colégio, foi estabelecido o período matutino para estudo de ocupação dos ambientes, pois o número de alunos matriculados neste período é maior, 1.159 alunos, enquanto no período da tarde é de 273 alunos. Adicionados a estes, um professor presente em cada sala de aula, funcionários administrativos e de direção, limpeza, apoio de monitoramento e segurança, somam 1.417 pessoas ao todo na escola no período matutino. Também é considerada a faixa etária dos alunos de 6º a 9º ano do ensino fundamental, ou seja, ocupantes de 12 a 15 anos de idade são concentrados nas salas de aula do segundo pavimento, enquanto os do 1º ao 3º ano do ensino médio, alunos de 16 a 18 anos, dividem-se nas salas de aula do térreo e primeiro pavimento.

6.3.4 Medidas de proteção existentes

Todas as medidas de segurança determinadas pelo projeto de segurança contra incêndio encontram-se implantadas no prédio principal do colégio, sendo elas: extintores de incêndio, abrigos de mangueira de hidrante, placas de sinalização de saída de emergência, luminárias de emergência, local da central e pontos de acionamento do alarme de incêndio; detectores ópticos de fumaça e porta chave. Foi observado um número maior de equipamentos instalados dos que o projeto preventivo indica, sendo eles: maior número de luminárias de emergência, uma a mais em cada sala de aula junto a porta de saída; algumas placas de

identificação de saída a mais do que o projeto e que não confundem o usuário quanto a rota de fuga a adotar em determinada situação; maior número de portas chave, sendo essas posicionadas em cada porta pantográfica presente na porção final das “escadas 2, 3 e 4”; portas de emergência com abertura exclusiva pelo lado de dentro foram observadas nas saídas alternativas do teatro e do auditório. Também foram verificadas diferentes localizações de luminárias de emergência, sendo essas posicionadas nas paredes ao invés do teto como representadas no projeto ou em alguns casos na parede oposta a projetada, porém sem afetar a funcionalidade desejada do equipamento. As alturas dos corrimãos encontram-se dentro da especificação do projeto.

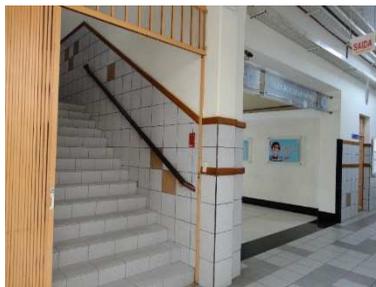
Quanto à manutenção desses equipamentos e componentes de segurança contra incêndio, pode-se observar que: os extintores encontram-se dentro da data de validade e pressurização adequados à função, as luminárias de emergência possuem ligação a rede elétrica, bem como os pontos de acionamento de alarme possuem indicação de luz de funcionamento adequado. Quanto às saídas de emergência, foi observado que: as “escadas 2, 3 e 4” possuem uma porta pantográfica na sua parte final, junto ao térreo. Durante o horário de aulas as “escadas 2 e 4” ficam com as portas parcialmente fechadas e com pedestal e fita separadora para inibir a passagem, mas sem fechar totalmente a porta pantográfica (Figura 73). A porta da “escada 3”, central, permanece aberta, conforme mostra a Figura 74. O fechamento das portas também ocorre no momento de intervalo ou final da aula, também para inibir a passagem dos alunos. Nas saídas de emergência secundárias do auditório e do teatro foi conferido que todas as portas ficam desimpedidas e são de fácil operação. Todas as portas de saída do prédio permanecem abertas, com exceção da porta dos fundos do primeiro pavimento. Neste pavimento, que encaminha a saída por uma escada para o fundo da escola, a porta permanece fechada, porém destravada. A saída principal da biblioteca é feita por uma porta de vidro de correr automática, enquanto a saída secundária localiza-se na sala dos fundos e tem livre acesso a todos os usuários pela parte de dentro da biblioteca, enquanto que para o lado de fora, o corredor, esse acesso é impedido.

Figura 73 - Porta pantográfica da Escada 4, junto ao térreo, parcialmente fechada.



Fonte: Da autora.

Figura 74 - Porta pantográfica da Escada 3, junto ao térreo, aberta.



Fonte: Da autora.

6.3.5 Exceções frente às exigências das normas prescritivas junto ao patrimônio

O edifício principal do Colégio Catarinense passou por diversas intervenções ao longo do tempo, assim como apresentado no item 6.3.1 deste trabalho. Frente às exigências do projeto de prevenção de incêndio da edificação foram verificados alguns pontos que serão aqui apresentados:

- a) guarda-corpos: apesar do edifício da escola ser bastante atualizado quanto as novas instalações atuais de segurança, o guarda-corpo da “escada 2” é mantido preservado conforme suas características da época da construção, incluindo sua altura de 88 cm (Figura 75);
- b) b) saídas de emergência: algumas portas das salas de aula voltadas para o corredor principal têm abertura para lado do fluxo de saída, conformando um obstáculo de até 58 cm em relação a parede, conforme mostra Figura 76. Nesse caso em específico, a porta é também um obstáculo para o acesso ao hidrante.

Figura 75 - Guarda-corpo da Escada
2.



Fonte: Da autora.

Figura 76 - Abertura da porta
formando obstáculo.



Fonte: Da autora.

6.3.6 Aplicação da Instrução Técnica nº 35/2017 (2ª Edição)

A aplicação da Instrução Técnica nº 35/2017 (2ª Edição) – Segurança contra incêndio em edificações que compõem o patrimônio cultural segue em detalhes a seguir.

6.3.6.1 Medidas de segurança

Primeiramente foram aplicadas as determinações quanto aos parâmetros para dimensionamentos das medidas de segurança contra incêndio e pânico referentes a evacuação segura de pessoas no objeto estudado. Foram determinadas as características físicas do objeto, resumidas na Figura 77:

Figura 77 - Resumo das características do edifício estudado – Colégio Catarinense.



Edificação: **Colégio Catarinense**
Classificação: Grupo E-1
 $12 < H \leq 30,00 \text{ m} / H = 21,50 \text{ m}$
População: 1.417 pessoas
Área: 12.100,00 m²

Fonte: Elaborado pela autora.

a) o grupo é determinado pela ocupação do edifício, conforme prescreve o Regulamento de Segurança Contra Incêndio e Pânico nas edificações e áreas de risco no Estado de Minas Gerais nas situações em que há uma aceitável uniformidade na sua distribuição espacial;

b) a altura (H) é determinada pela sua posição em relação ao nível de descarga;

c) a população foi calculada, neste trabalho, por meio de coleta de dados;

d) a área é igual à área total construída da edificação.

O Colégio Catarinense, por possuir altura maior que 12 m, seguiu as especificações da IT nº 01/2017 (8ª Edição) – Procedimentos administrativos – tabela 06, e esta é apresentada no Anexo C deste trabalho. As medidas de segurança exigidas a cada objeto são mínimas e devem ser aplicadas a todas as edificações tombadas. Os parâmetros de segurança foram reunidos no quadro que se encontra no Apêndice A.

Quanto ao “controle de materiais de acabamento e revestimentos”, entende-se que o objeto não possui o controle especificado na instrução uma vez que não consta no projeto de segurança contra incêndio essa informação. Quanto à “iluminação de emergência”, o edifício atende a instrução técnica, porém ressalta-se que foram feitas observações quanto ao posicionamento correto dos blocos autônomos. Contudo, não foram acionadas as instalações para verificação de sua efetiva intensidade. Quanto às “saídas de emergência”, a instrução técnica subdivide em sete itens:

a) o edifício possui “rotas de fuga que conduzem a população a um local seguro, preferencialmente ao ar livre, no nível do solo”;

b) quanto aos itens “largura das saídas de emergência”, o colégio atende as especificações mínimas;

c) quanto aos “acessos”, o colégio atende as especificações mínimas;

d) quanto ao item “número de saídas nos pavimentos e descargas”, o colégio atende as especificações mínimas;

e) quanto a “portas nas rotas de fuga”, no entanto, o colégio não atende as especificações pois: as portas que abrem em sentido contrário ficam fechadas, sem tranca e não possuem sinalização previstas na IT nº 15 - Sinalização de emergência;

f) para os “corrimões e guarda-corpos”, o Colégio Catarinense não atende, pois foram observados guarda-corpos com menos de 92 cm de altura, balaustradas vazadas pelas quais passam esferas de 15 cm e possuem elementos que possibilitam enganchamento;

g) para o item “escadas / rampas” o edifício atende as dimensões e características, contudo possui a ressalva já descrita quanto aos guarda-corpos.

Quanto ao item “sinalização de emergência”, o edifício possui as determinações quanto as sinalizações, porém, faltam as sinalizações previstas na IT nº15 e descrito no item “portas nas rotas de fuga”. O colégio não atende ao item “extintores”, pois possui extintores de pó químico seco – PQS – nas áreas com elementos artísticos móveis, o que pode acarretar danos a esses elementos. Além disso, não possui unidades extintoras de gás inerte nas áreas junto ao acervo documental. O colégio não possui “brigada de incêndio”, porém atende ao item “alarmes de incêndio”. Quanto aos “hidrantes e mangotinhos” o colégio atende a medida de segurança, pois possui hidrantes. Porém, eles também estão presentes em área com elementos artísticos móveis. O Colégio Catarinense atende a todas as determinações quanto ao “Acesso a viaturas” e “Segurança estrutural contra incêndio”. É estabelecido 60 minutos como o tempo requerido de resistência ao fogo – TRRF – para uma edificação com as características do Colégio Catarinense. A edificação possui paredes de tijolos revestidos que possui resistência ao fogo maior ou igual a 4 horas. Quanto à “compartimentação vertical” exigida ao prédio principal do Colégio Catarinense, este não atende a medida de segurança. Apesar da separação entre aberturas das fachadas ser feita por parapeito com mais de 1,20 m, as escadas não são do tipo enclausuradas. Ressalta-se que não foi possível determinar a composição dos entrepisos das áreas antigas do prédio para determinar se garantem a separação física de pavimentos no interior dos edifícios. Também não foram identificados ensaios nas vedações das prumadas de serviço e não pôde ser constatada vedação corta-fogo junto a dutos.

A sinalização de segurança quanto a rotas de fuga e iluminação de emergência são itens que se percebem em todos os ambientes da escola. Percebe-se também que as saídas de emergência são maior número do que o estabelecido em projeto e que todas as rotas possuem pelo menos uma saída alternativa. As escadas são um dos principais pontos quanto ao não atendimento as exigências, pois são abertas e possibilitam o espalhamento do fogo, fumaça e calor a outros pavimentos da escola e, principalmente, pelo fato desses elementos poderem atingir os ocupantes durante uma evacuação de emergência em situação de incêndio. Uma característica positiva é que mesmo sendo um edifício de grandes proporções e cercado de construções vizinhas, há o acesso necessário às viaturas dos bombeiros para o combate ao incêndio.

6.3.6.2 Determinação do risco global de incêndio

Da mesma forma que no museu histórico e no TAC, no Colégio Catarinense os parâmetros de exposição de risco de incêndio, de ativação de incêndio e os fatores de segurança foram obtidos a partir das observações feitas no prédio principal da escola. A organização dos dados calculados consta no Apêndice D deste trabalho e cada fator seguiu o raciocínio como descrito abaixo.

Primeiro, foi obtido o parâmetro $f1 = 1,0$, fatores de risco associados às características construtivas, pois o colégio é tipo Q. A edificação possui lajes e paredes em alvenaria na maior parte de sua estrutura, com isso dificulta significativamente a propagação do incêndio nas direções horizontais e verticais. Já o parâmetro $f2$, referente ao risco associado à grandeza da carga de incêndio, foi obtido na IT nº 09 – Carga de incêndio em edificações e áreas de risco, conforme determina a IT nº 35/2017. O colégio possui uma distribuição da carga de incêndio heterogênea, pois é composto de ambientes como museu, teatro, biblioteca, sala de aula, depósitos e restaurante. Contudo, optou-se por adotar a classificação “escolas em geral”, para simplificação da obtenção do parâmetro, e esta especifica a carga de 300 MJ/m^2 e, conseqüentemente, $f2 = 1,2$. Ao parâmetro $f3$, posição da carga de incêndio, foi atribuído o valor de $1,5$. Para o fator $f4$, que se refere ao fator de risco associado à distância do Corpo de Bombeiros, foi encontrado valor de $1,0$, pois o colégio dista menos de 1 km desse. Quanto a $f5$, fator de risco associado às condições de acesso, determinou-se o valor de $1,25$, pois o colégio é considerado, pela instrução técnica, como de acesso restrito.

Para o cálculo da ativação de incêndio A , determinou-se os parâmetros $A1 = 1,25$, pois se trata de uma escola. O parâmetro de risco de ativação devido às falhas humanas, $A2$, foi determinado da mesma forma que no TAC, a partir de comentários sobre a necessidade de treinamentos de incêndio percebidos nas visitas em salas administrativas do edifício. Com isso, é entendido que os usuários do edifício não são treinados e é encontrado $A2 = 1,75$. Para $A3$, risco devido à qualidade das instalações elétricas e de gás da edificação, foi adotado valor igual a $1,12$.

Na determinação dos fatores de segurança, o valor de S encontrado foi $320,0$, devido às medidas sinalizadoras encontradas e já relatadas neste trabalho no item 6.3.2.

Com os parâmetros levantados e realizados os cálculos necessários, foi encontrado o coeficiente de segurança $\gamma = 72,6$.

A avaliação por esse método, portanto, assegura que o prédio principal do Colégio Catarinense tem a segurança suficiente quanto a incêndio e pânico.

6.3.7 Simulação computacional

A simulação computacional do prédio principal do Colégio Catarinense foi realizada a partir da modelagem da edificação dentro do software *PTV Vissim*. Foram considerados os ocupantes e definidas as rotas em cada cenário estudado. Algumas modificações foram necessárias no layout, porém essas não descaracterizam a escola. Essas etapas precederam a análise dos resultados das simulações computacionais, conforme descrito a seguir.

6.3.7.1 Modelagem

A princípio, para a simulação computacional, foi feita a modelagem em três dimensões do Colégio Catarinense utilizando-se o software Revit (versão 2016) e exportado para o arquivo IFC (extensão *.ifc) para a leitura no *PTV Vissim*. No entanto, foram encontrados os mesmos erros apresentados na modelagem do TAC e relatados no item 6.2.7 deste trabalho.

Utilizou-se, então, outra ferramenta de construção da modelagem 3D a partir das plantas do software Auto CAD. A importação dos pisos planos, paredes e demais obstáculos, deu origem a modelagem construída dentro do próprio software *PTC Vissim*, visto que as plantas e layout do colégio são relativamente simples, mesmo que em grandes proporções. As escadas foram inseridas no modelo utilizando os comandos do programa da PTV, além de serem informadas as cotas necessárias para a posição dos patamares. Não foram inseridos, na modelagem, o auditório e o teatro da escola, devido às dificuldades já relatadas de construção de pisos inclinados dentro do software. Os mezaninos e os subsolos também foram omitidos para simplificar a construção do modelo, visto que esses ambientes não possuem ocupantes permanentes.

6.3.7.2 Ocupantes

Após a construção do modelo foi realizada a inserção dos ocupantes em cada ambiente virtual e designado o ponto de início e final do trajeto de cada grupo de pessoas ou volume de pedestres. Foram adicionadas, às plantas, 1.417 pedestres distribuídos nas salas de aula,

salas administrativas e demais ambientes da escola onde foram observadas pessoas, conforme descrito no item 6.3.3 desse Capítulo e visualizado na Figura 78.

Figura 78 - Simulação da evacuação do Colégio Catarinense com cenário 1.



Fonte: Elaborado pela autora.

Os pedestres inseridos possuem as características padrão do programa, homens e mulheres. Somente para os ocupantes do restaurante foi utilizado o tipo de pedestre denominado “mulher e criança”, pois foi observado que, dentre as 50 pessoas presentes na ocasião de uma das visitas, metade desse número era de crianças.

6.3.7.3 Cenários

Foram estudados três cenários diferentes para o Colégio Catarinense, conforme apresentado na Tabela 6. No primeiro cenário as pessoas distribuídas no colégio têm como destino as saídas mais próximas a eles. Esse cenário visa estudar a saída normal utilizando-se as rotas de fuga previstas no projeto de prevenção de incêndio e pânico e a sinalização de saída implantada. Para a velocidade normal de caminhada foi adotada a velocidade desejada de 1,2 m/s.

Tabela 6 - Configuração dos cenários estudados no Colégio Catarinense.

CENÁRIO	DESCRIÇÃO	POPULAÇÃO	VELOCIDADE
CENÁRIO 1	Saída mais próxima	1.417	1,20 m/s
CENÁRIO 2	Saída mais próxima	1.417	1,53 m/s
CENÁRIO 3	Saída 1	1.417	1,53 m/s

Fonte: Elaborado pela autora.

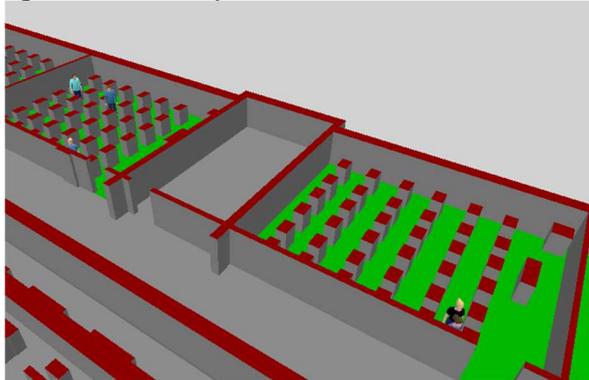
Para o cenário 2 o mesmo volume de pedestres faz o abandono do prédio pela saída mais próxima, adotando-se a velocidade desejada de 1,53 m/s, que caracteriza uma velocidade de caminhada mais rápida, semelhante a uma evacuação de emergência. Para o cenário 3, o abandono do edifício foi traçado para ser realizado somente pela “saída 1” da edificação e o caminho percorrido passa pela saída mais próxima de cada

pedestre. Neste cenário também foi adotada a velocidade desejada de 1,53 m/s. Com este terceiro cenário é possível verificar os fluxos de pessoas deixando o prédio, primeiramente utilizando a rota de fuga prevista no projeto e implantada através da sinalização de emergência, mas que, por algum motivo de obstrução ou impedimento das saídas, precisam seguir para “saída 1” do edifício.

6.3.7.4 Alterações necessárias para a execução das simulações

Em princípio, todas as características do layout nas áreas internas que compõem os caminhos de evacuação da edificação foram representadas. Entretanto, foram necessários alguns ajustes quanto ao layout das salas para viabilizar as simulações computacionais: foram removidas as carteiras das salas de aula e alguns móveis das salas administrativas tiveram suas dimensões diminuídas, proporcionando um aumento das circulações entre eles. Primeiramente, tentou-se diminuir o número de mobiliário dentro das salas de aula, porém alguns avatares permaneciam atrelados entre as carteiras ou mesmo atrás delas, provocando erros nos resultados das simulações, uma vez que esses pedestres continuavam na rede, como mostra a Figura 79.

Figura 79 - Avatares presos no mobiliário das salas de aula.



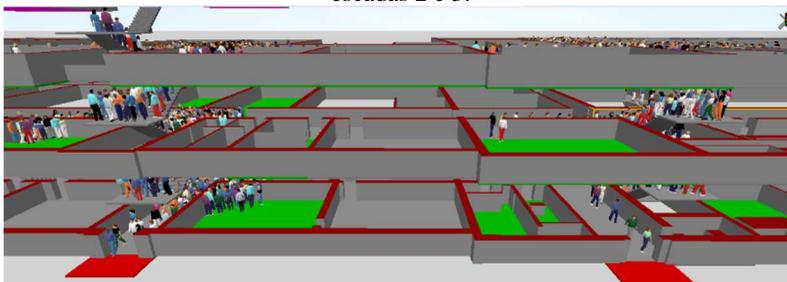
Fonte: Elaborado pela autora.

6.3.7.5 Resultados das simulações

Fazendo-se a análise visual da saída dos ocupantes do Colégio Catarinense durante a simulação, têm-se que, no cenário 1, logo após o início da evacuação, já há a presença de aglomerações nas circulações. No primeiro minuto da simulação é possível ver as “escadas 2, 3 e 4”, as

mais solicitadas em número de pessoas em suas rotas de fuga, totalmente tomadas de pedestres. Estes pedestres apresentam velocidade menor do que a configurada para o cenário e mostram-se bem próximos uns dos outros (Figura 80). Conseqüentemente, há um retardamento do abandono das salas mais próximas às áreas das circulações junto às “escadas 2, 3 e 4” devido à massa de pessoas que se forma perto dessas, como é visualizado na Figura 81. Junto a regiões de estrangulamento da circulação, ou seja, onde esta tem suas dimensões reduzidas, vê-se a formação de gargalos (Figura 82).

Figura 80 - Simulação da evacuação do Colégio Catarinense no cenário 1 – escadas 2 e 3.



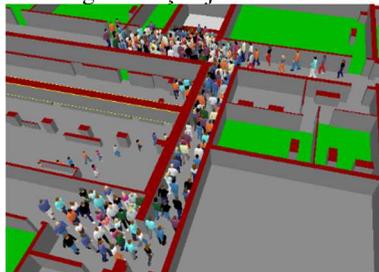
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 81 - Simulação da evacuação do Colégio Catarinense no cenário 1 - aglomeração junto a escada 2.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 82 - Simulação da evacuação do Colégio Catarinense no cenário 1 – gargalos e aglomeração junto a escada 3.

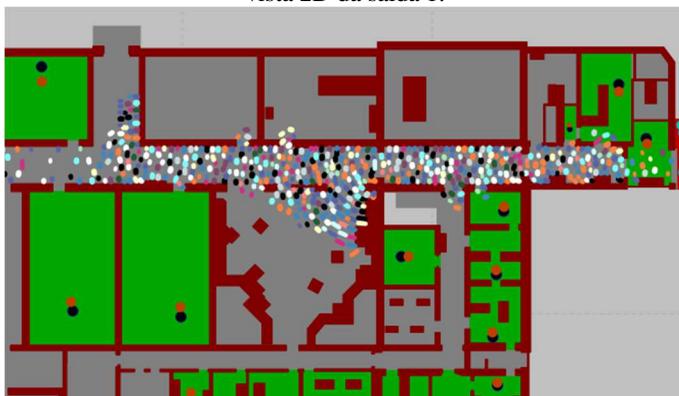


Fonte: Elaborado pela autora.

No cenário 2, mesmo com o aumento da velocidade desejada são verificadas aglomerações e interações entre pessoas, semelhantes ao cenário 1, junto as “escadas 2, 3 e 4”. Arqueamentos são mais visíveis junto as portas das salas de aula nos primeiros segundos das simulações.

No cenário 3, as mesmas interações entre os pedestres, gargalos e aglomerações são visíveis, tal qual a simulação no cenário 2, pois como foram conduzidos a passar pelas saídas mais próximas, cada grupo de pedestres faz, em princípio, o caminho de fuga semelhante ao cenário anterior. Contudo, as aglomerações e a baixa velocidade de deslocamento devido ao gargalo próximo a “escada 2”, ficam ainda mais intensificadas da metade para o final da simulação, período em que todos os ocupantes do edifício estão em direção à “saída 1”. A Figura 83, mostra a simulação no tempo 247 s com 682 pedestres na rede e a Figura 84 mostra os pedestres durante a aproximação da “saída 1”.

Figura 83 - Simulação da evacuação do Colégio Catarinense com cenário 3 – vista 2D da saída 1.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 84 - Simulação da evacuação do Colégio Catarinense com cenário 3 – aproximação da saída 1.

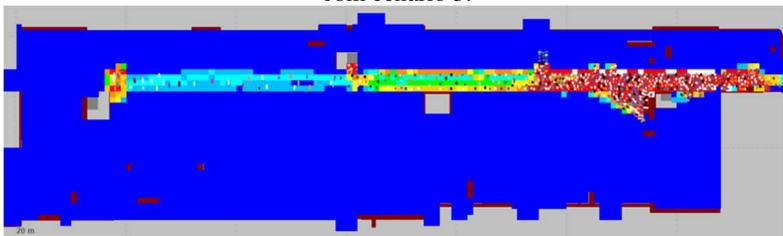


Fonte: Elaborado pela autora.

Para análise da densidade foram verificados os mapas de densidade a cada 30 segundos da evacuação, nos cenários 1, 2 e 3. No cenário 1, lê-se um aglomerado junto as circulações no primeiro minuto da evacuação, nos pavimentos térreo, primeiro e segundo. Também se verifica uma maior densidade de pessoas na rede junto as “escadas 2, 3 e 4”, nos primeiros minutos de simulação e nas “escadas 2 e 3” até o final do tempo da evacuação.

O cenário 3 apresenta aglomerações que se mostram inicialmente semelhantes às do cenário 1 e 2, e se intensificam com o passar do tempo da simulação, visto que a própria multidão que se forma torna-se um obstáculo à fluidez do deslocamento no pavimento térreo, pois esse cenário possui um único caminho a ser feito por todos os ocupantes do edifício. Na Figura 85, a imagem representa um momento crítico, onde a maior parte do pavimento térreo em que há pessoas, chega a concentrar um número igual ou maior que 5 pedestres por m². Essas áreas de alta concentração de pessoas são representadas em vermelho, de acordo com o esquema de cores de densidade de Weidmann (1974 apud PTV, 2018), no momento 250 s da evacuação, quando ainda há, na rede, 670 ocupantes que não deixaram o prédio.

Figura 85 - Mapa de densidade durante a simulação do Colégio Catarinense com cenário 3.



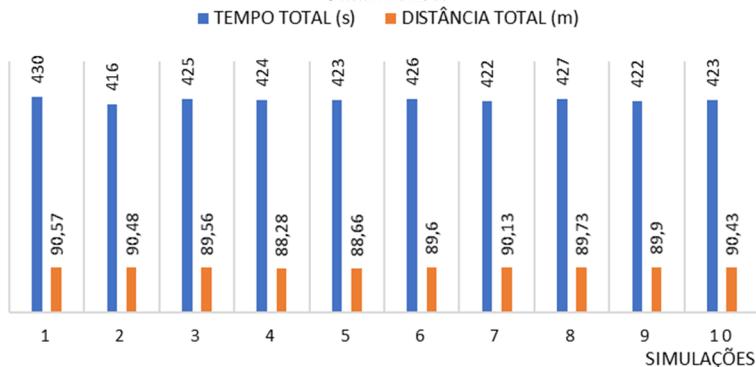
Fonte: Elaborado pela autora.

Com as simulações realizadas em cada cenário, foi possível coletar informações através do software e exportar para planilha eletrônica. Foram verificados os tempos totais máximos de evacuação de cada simulação, representados nos Gráficos 7 a 9, e calculado o tempo máximo médio para evacuação do colégio em cada cenário. Foram obtidos o tempo máximo médio de: 423,5 s ou 7 min e 3 s para o cenário 1; 298,5 s, ou 4 min e 59 s, para o cenário 2 e 512 s, ou 8 min e 32 s no cenário 3.

Também foram coletadas as distâncias totais percorridas para a evacuação de cada simulação (Gráficos 7 a 9) e calculada a distância total

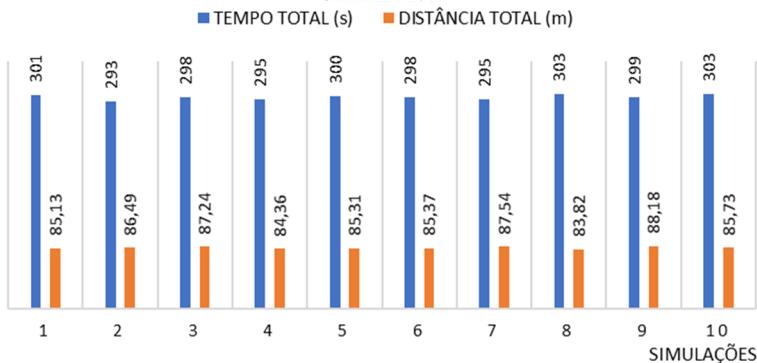
média em cada cenário. Foram obtidas a distância total média de: 89,82 m para cenário 1; 85,55 m para o cenário 2; e 200,96 m para o cenário 3.

Gráfico 7 - Tempos e distâncias obtidos no cenário 1 do Colégio Catarinense.



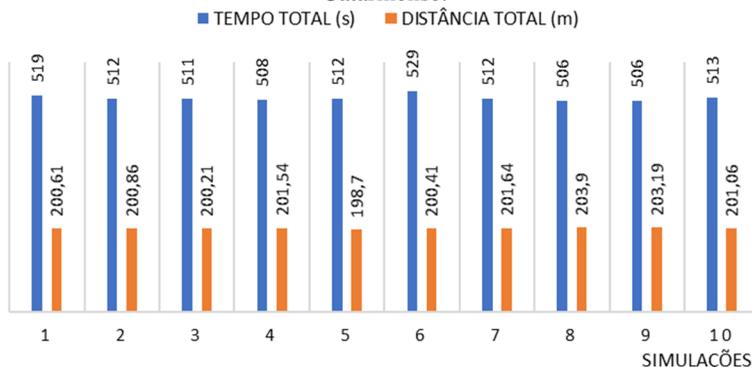
Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 8 - Tempos e distâncias obtidos no cenário 2 do Colégio Catarinense.



Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 9 - Tempos e distâncias obtidos no cenário 3 do Colégio Catarinense.



Fonte: Elaborado pela autora.

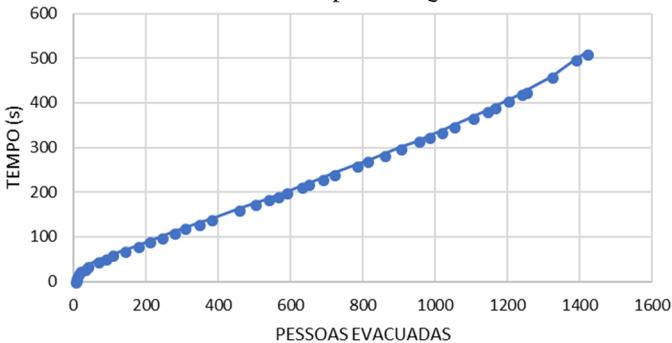
As simulações nos três cenários diferentes mostram que: a quantidade de pessoas que atualmente utiliza o Colégio Catarinense no período matutino configura um panorama de abandono total e simultâneo do prédio de cerca de 7 min pelas saídas mais próximas, ou seja, aquelas previstas pelo projeto de prevenção de incêndio e pânico implantado na escola. Para uma situação de emergência, o tempo encontrado é de 5 min, utilizando as rotas de fuga do edifício. As escadas e saídas são distribuídas ao longo dos 138 m de comprimento e 4 pavimentos, que conformam a escola, possibilitando a evacuação de seus ocupantes de forma distribuída. Todavia, 5 min é um tempo considerado elevado para a evacuação da escola, visto que as escadas não são do tipo enclausuradas. Para a situação de emergência em que cada rota de fuga conhecida e sinalizada possui a saída externa impedida e os ocupantes se dirigem a uma única saída, a “saída 1”, vê-se um aumento considerável na distância a ser percorrida e também no tempo total da evacuação desse edifício. Para este cenário, o tempo de cerca de 8 min é considerado elevado e preocupante para a segurança dos ocupantes, visto que as interações entre as pessoas, aglomerações e o gargalo provocados na circulação junto a “saída 1” e a “escada 2” são acentuados e o tempo, muito acima do tempo máximo de abandono, considerado seguro.

Em relação à distância total percorrida para evacuar a edificação, durante as simulações do cenário 1, em que os ocupantes deixam o prédio pelas saídas mais próximas, faz-se um trajeto de aproximadamente 90 metros para o caminho mais longo. Com maior velocidade, o caso do cenário 2, a distância total média de cerca de 85 m é semelhante ao cenário

anterior. Contudo, no cenário 3, em que a “saída 1” é utilizada por todos os ocupantes do prédio, o caminho mais longo para evacuação do edifício aumenta consideravelmente em comparação a rota de fuga mais próxima, somando um total de 200 m a serem percorridos. Esse trajeto é avaliado como extenso, visto que o ocupante se encontra dentro de uma edificação fechada e em situação de emergência, o que pode aumentar a situação de pânico.

Visto isso, fez-se uma avaliação, junto ao cenário 3, quanto à evacuação ao longo do tempo. No Gráfico 10 apresenta-se o número de pessoas evacuadas pelo tempo decorrido em segundos. Percebe-se uma evacuação bastante linear, mesmo com a diminuição da velocidade das pessoas quando em aglomerados junto a saída.

Gráfico 10 – Pessoas evacuadas x tempo - Colégio Catarinense no cenário 3.



Fonte: Elaborado pela autora.

Para a análise ao longo do tempo, também foi verificada a evacuação total por pavimento. O segundo pavimento só é totalmente evacuado por volta de 188 s, ou cerca de 3 min de evacuação. Já a evacuação total do primeiro pavimento se dá por volta de 237 s após o início da simulação, ou aproximadamente 4 min. A partir desse momento até a evacuação total do edifício, os pedestres encontram-se concentrados no pavimento térreo e na “escada 2”, junto ao gargalo formado próximo à “saída 1”.

Com essa avaliação é possível, numa situação de incêndio, onde há presença de calor, fumaça e/ou fogo, determinar se as pessoas presentes nas rotas de fuga, serão atingidas por quaisquer desses fatores, dependendo do foco do incêndio e de sua posição em relação aos ocupantes do edifício.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da evacuação segura de pessoas em situação de incêndio e em outras emergências tem o objetivo principal de salvar vidas. Quando em edifícios históricos essa busca extrapola para a tentativa de preservar o bem tombado e seu acervo. O estudo sobre esses temas contribui para o contínuo desenvolvimento de conhecimento aplicado à prevenção de incêndios e outros desastres tecnológicos. Esse trabalho teve como objetivo analisar a segurança contra incêndios em edifícios e áreas de interesse histórico com grande concentração de pessoas, principalmente quando há dificuldade em se adotar as normas técnicas vigentes, dando ênfase à garantia da evacuação segura das pessoas.

A revisão da literatura realizada elucidou as questões referentes ao comportamento humano frente a situações de emergência, com destaque aos eventos de incêndios. Percebe-se que as abordagens de estudo do incêndio são diversas. E mesmo com pesquisas sendo realizadas continuamente, muito deve ser estudado, pesquisado, planejado e efetivamente colocado em prática, seja em regulamentações, em novos materiais aplicados ou em treinamentos. Também foram levantadas pesquisas atuais referentes à evacuação segura de pessoas em edificações históricas, percebendo-se que grande parte dessas pesquisas são bastante recentes. A análise das pesquisas correlatas mais atuais com a utilização de simuladores computacionais de evacuação de emergência, que consideram o comportamento humano frente a essas situações, permitiu constatar a evolução dessa ferramenta. A partir dessa análise foi possível a escolha do software empregado neste trabalho.

Por meio do estudo de caso dos três edifícios históricos aqui apresentados, pôde-se estudar a aplicação da normativa mais atual existente no Brasil, a Instrução Técnica nº 35/2017 (2ª edição), a qual foi aliada à simulação computacional de evacuação para verificar-se se esses edifícios estão aptos à evacuação segura de pessoas em situações de emergência.

Durante o processo da pesquisa, observou-se dificuldades na manipulação dos softwares. Dificuldades estas que ainda precisam ser mais investigadas e solucionadas, como foi o caso dos arquivos convertido a partir do padrão IFC, que impossibilitou a realização do estudo completo de um dos objetos escolhidos, o Teatro Álvaro de Carvalho. Contudo, acredita-se ter chegado no propósito do estudo.

A aplicação da IT nº 35/2017 mostrou que se trata de uma norma bastante ampla, na medida em que leva em consideração todas as peculiaridades dos edifícios tombados. Entende-se que essa normativa,

adotada pelo Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Minas Gerais, é a melhor opção, atualmente, para estabelecer as medidas de segurança contra incêndio e pânico para a proteção dos edifícios que compõem o patrimônio cultural no Brasil.

Entende-se que a adoção de uma ferramenta computacional avançada de simulação, baseada em desempenho, promove um maior conhecimento do objeto estudado e de como as pessoas se comportam em situações de necessidade de abandono. Essa ferramenta amplia a análise do edifício, pois é possível visualizar o que ocorre em possíveis situações de emergência. Com o software de evacuação é possível reconhecer todos os pontos que requerem maior atenção, como afunilamentos que provocam gargalos. Fato este que auxilia o profissional de segurança quanto a adoção de medidas que deverá tomar nesses pontos críticos. Além disso, a simulação permitiu a obtenção do tempo total necessário para a evacuação completa das edificações e as distâncias que o ocupante deve percorrer para o abandono do prédio.

O Brasil possui um elevado número de normas contra incêndio e existem incompatibilidades entre essas normas e edifícios históricos, principalmente no estado de Santa Catarina, onde a norma prescritiva, de maneira isolada, possui limitações na segurança de edificações tombadas.

Os simuladores computacionais podem ser excelentes ferramentas para a análise dos projetos pelo Corpo de Bombeiros, pois ampliam a avaliação das condições de segurança quanto à evacuação de pedestres para além dos aspectos normativos. Sugere-se a efetiva aplicação da ferramenta para essa finalidade.

As análises mostraram que não é por acaso que a avaliação da segurança de edifícios com interesse histórico é complexa. É difícil, portanto, ater-se a apenas um método, ou norma, para a realização da análise abrangente quanto a segurança desses edifícios e de seus ocupantes. Todos os edifícios são distintos e difíceis de serem comparados. Cada edifício histórico é único e o processo de análise de segurança deve considerar as suas especificidades.

7.1 RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Ao longo do desenvolvimento da pesquisa, observou-se alguns temas de pesquisa que podem ser abordadas em trabalhos futuros, tais como:

- i. O desenvolvimento da simulação computacional para avaliação da evacuação emergencial no Teatro Álvaro de Carvalho, utilizando os estudos iniciados nessa pesquisa.

- ii. Execução das avaliações de todos os itens de segurança na avaliação integral dos edifícios na segurança contra incêndio e pânico.
- iii. Contemplar o salvamento de acervos presentes em edificações históricas, explorando, por exemplo, a execução do Plano de Intervenção para os edifícios estudados.
- iv. Em relação ao estudo da evacuação de pessoas, sugere-se a aplicação de simulação de abandono de edifício, analisa-se ocupantes com e sem treinamento de evacuação do prédio.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 13860:1997. *Glossário de termos relacionados com a segurança contra incêndio*. Rio de Janeiro, 1997.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 14432:2001 *Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações* – Procedimento, 2001.

ALVARES, Alice Laura de Oliveira et al. Análise dos parâmetros de segurança do projeto de prevenção e combate a incêndio e pânico para a Boate Kiss (Santa Maria/RS) frente à legislação do estado de Minas Gerais. *Percurso Acadêmico*, Belo Horizonte, v. 6, n. 12, jul/dez, 2016.

ÁLVARES, Patricia Maria Fialho. *Fotogrametria digital e risco de incêndio em sítios históricos: Possibilidades de aplicação*. 99 f. Dissertação – UFOP. Ouro Preto, 2007.

APTE, Aruna. Humanitarian Logistics: A New Field of Research and Action. *Foundations and Trends in Technology, Information and Operations Management*, vol 3, nº 1, p. 1-100, 2009.

ARAÚJO, Silvia Maria Soares de; SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; GOUVEIA, Antônio Maria Claret de. Análise de risco de incêndio em cidades históricas brasileiras: a metodologia aplicada à cidade de Ouro Preto. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, v. 5, n.1, p.55-67, mai. 2005.

ASSIS, Renilton Roberto da Silva Matos de; SANTANA, Poliana Silva (Org.) *Relatório geral de atividades Museu Histórico de Santa Catarina 2016* – Florianópolis: FCC Edições, 2017. Disponível em: <<http://www.cultura.sc.gov.br/espacos/mhsc/o-museu/17957-17957-relatorios>> Acesso em: 26 de fevereiro de 2018.

BARBOSA, Maria Teresa; FINOTTI, Marzio H.; SOUZA, Vicente C. Patologias de edifícios históricos tombados de propriedade da administração pública, In: *Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas*. Aveiro, Portugal, 2008 apud BARBOSA et al. 2011.

BARBOSA, Maria Teresa; POLISSENI, Antônio Eduardo; HIPPERT, Maria Aparecida, SANTOS, White José dos; OLIVEIRA, Igor Moura de; MONTEIRO, Karla Teixeira. *Patologias de edifícios históricos tombados: Estudo de caso – Cine Teatro Central*. Arquitectos, 2011 <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitectos/11.128/3720>> Acesso em: 06 de julho de 2017.

BECKER, Rachel. Research and development needs for better implementation of the performance concept in building. *Automation in Construction*, v. 8, n. 4, p. 525-532, 1999.

BERNARDINI, Gabriele; AZZOLINI, Matteo; D’ORAZIO, Marco; QUAGLIARINI, Enrico. Intelligent evacuation guidance systems for improving fire safety of Italian-style historical theatres without altering their architectural characteristics. *Journal of Cultural Heritage*, v. 22, p. 1006-1018, 2016.

BERTO, Antônio F. *Medidas de proteção contra incêndio: aspectos fundamentais a serem considerados no projeto arquitetônico dos edifícios*. São Paulo, 1991. Dissertação – FAUUSP apud MITIDIARI; IOSHIMOTO, 1998.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Política Nacional de Defesa Civil. Brasília: Secretaria Nacional de Defesa Civil, 2007. 82p. Disponível em: <http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=6aa2e891-98f6-48a6-8f47-147552c57f94&groupId=10157> Acesso em: 02 de outubro de 2017.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 292 p., 1988.

BRAVO Engenharia, Gerenciamento e Tecnologia em eventos LTDA. *Palácio Cruz e Sousa: Preventivo Incêndio*. Dez / 2014. Desenhista: Tiago. Folha I-01 a I-05.

BRENNAN, Patricia. Victims and Survivors in Fatal Residential Building Fires. *Proceedings of the First International Symposium – Human Behaviour in Fire*, University of Ulster, Fire Safety Engineering Research and Technology Centre, 1998 apud FAHY; PROULX; AIMAN, 2009.

CARTA DE BURRA. IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico Artístico Nacional. Austrália, 1980. Disponível em: < <http://portal.iphan.gov.br> > Acesso em: 02 de junho de 2017.

CARTA DE VENEZA. IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico Artístico Nacional. Veneza, 1964. Disponível em: < <http://portal.iphan.gov.br> > Acesso em: 02 de junho de 2017.

CARTA DO RESTAURO. IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico Artístico Nacional, 1972. Disponível em: < <http://portal.iphan.gov.br> >. Acesso em: 02 de junho de 2017.

CASSOL, Vinícius Jurinic; BRASIL, Jovani Oliveira; Neto; AMYR B. Fortes; BRAUN, Adriana; MUSSE, Soraia Raup. An approach to validate crowd simulation software: a case study on crowdSim. In *Proceedings of SBGames 2015 - XIV SBGames*. Teresina, 2015.

CASSOL, Vinícius Jurinic; RODRIGUES, Rafael Araújo; CARNEIRO, Luiz Carlos Cunha; SILVA, Anderson; MUSSE, Soraia Raup. CrowdSim: Uma ferramenta desenvolvida para simulação de multidões. In: *I Workshop de Simulação Militar – SBGames*, 2012.

CBMERJ - CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. Nota técnica – NT 2-16. *Acesso de viaturas em edificações*, 2017. (não publicado).

CBMMG - CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MINAS GERAIS. Instrução Técnica nº 01/2017 (8ª Edição) – *Procedimentos administrativos*, 2017b.

CBMMG - CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MINAS GERAIS. Instrução Técnica nº 04/2014 (2ª Edição) – *Acesso de viaturas nas edificações e áreas de risco*, 2014.

CBMMG - CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MINAS GERAIS. Instrução Técnica 06/2005 – *Segurança estrutural das edificações*, 2005.

CBMMG - CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MINAS GERAIS. Instrução Técnica nº 07 – *Compartimentação horizontal e compartimentação vertical para complementar as informações dos parâmetros para dimensionamento*.

CBMMG - CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MINAS GERAIS. Instrução Técnica nº 08/2017 (2ª Edição) – *Saídas de emergências em edificações*, 2017.

CBMMG - CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MINAS GERAIS. Instrução Técnica nº 09 - *Carga de incêndio nas edificações e área de risco*.

CBMMG - CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MINAS GERAIS. Instrução Técnica nº 15/2017 (2ª Edição) – *Sinalização de emergência*, 2017.

CBMMG - CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MINAS GERAIS. Instrução Técnica nº 35, 2ª edição – *Segurança contra incêndio em edificações que compõem o patrimônio cultural*, 2017a.

CBMMG - CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MINAS GERAIS. Instrução Técnica nº 38 - *Controle de materiais de acabamento e de revestimento* – CMAR.

CBMP - CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO PARANÁ. Norma de procedimentos técnicos – NPT 040 – *Edificações históricas, museus e instituições culturais com acervos museológicos*, 2012.

CBMRS - CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO RIO GRANDE DO SUL. Resolução Técnica CBMRS nº 05, parte 7 – *Processo de segurança contra incêndio: edificações existentes, históricas e tombadas*, 2014.

CBMSC - CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA. Instrução Normativa nº 5 – *Edificações existentes*, 2015.

CBMSC - CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA. *Normas de segurança contra incêndios do estado de Santa Catarina*. 2.ed. rev. e ampl. Florianópolis: EDEME, 144p., 1994.

CHOAY, Françoise. *A alegoria do patrimônio*; trad. Luciano Vieira Machado. 3ª Edição. São Paulo: Estação Liberdade: UNESP, 2006.

COELHO, A. L. *Fundamentos da segurança contra incêndio em edifícios*, Laboratório Nacional de Construção Civil, Lisboa, 2004 apud VALENTIN; ONO, 2006.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE GOIÁS. Norma Técnica – NT nº 27. *Edificações históricas, museus e instituições culturais com acervos museológicos*, 2014

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MATO GROSSO DO SUL. Norma técnica nº 40. *Edificações históricas, museus e instituições culturais com acervos museológicos*, 2013.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE RONDÔNIA. Instrução Técnica n.27. *Edificações históricas, museus e instituições culturais*, 2017.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SÃO PAULO. Instrução Técnica nº 40. *Edificações históricas, museus e instituições culturais com acervos museológicos*, 2011.

CUNHA, Leonardo Jorge Brasil de Freitas. *O desempenho da compartimentação horizontal seletiva na promoção da segurança contra incêndio em edificações*. 236 f. Tese – UFRN. Natal, 2016.

D'ORAZIO, Marco; BERNARDINI, Gabriele; TACCONI, Silvia; ARTECONI, Valentina; QUAGLIARINI, Enrico. Fire safety in Italian-style historical theatres: How photoluminescent wayfinding can improve occupants' evacuation with no architecture modifications. *Journal of Cultural Heritage*, v. 19, p. 492-501, 2016.

DAAMEN, Winnie; HOOGENDOORN, Serge. Capacity of doors during evacuation conditions. *Procedia Engineering*, v. 3, p. 53-66, 2010.

DEOH - DEPARTAMENTO DE EDIFICAÇÕES E OBRAS HIDRÁULICAS DO ESTADO DE SANTA CATARINA. *Teatro Álvaro de Carvalho: Projeto preventivo contra incêndios*. Set/2003. Desenhista: H&S. Folhas 01 a 05.

EDGAN, David M. *Concepts in building fire safety*. New York: John Wiley & Son, 1978 apud MATTEDI, 2005.

FAHY, Rita F.; PROULX, Guylene; AIMAN, Lata. *Panic'and human behaviour in fire*. National Research Council Canada, 2009.

FERENHOF, Helio Aisenberg; FERNANDES, Roberto Fabiano. Desmistificando a revisão de literatura como base para redação científica: método SFF. *Revista ACB*, v. 21, n. 3, p. 550-563, 2016.

FERNANDES, Christiane Wenck Nogueira. *O enfoque da logística humanitária na localização de uma central de inteligência e suporte para situações emergenciais e no desenvolvimento de uma rede dinâmica*. 273 f. Tese - UFSC, Florianópolis, 2010b.

FERNANDES, Ivan Ricardo. *Engenharia de segurança contra incêndio e pânico*. Curitiba, PR: CREA-PR, 2010a.

FINEP. Software simula comportamento de multidões em grandes eventos para evitar incidentes. *Finep*, 2013. Disponível em: <<http://finep.gov.br/noticias/todas-noticias/3653-software-simula-comportamento-de-multidoes-em-grandes-eventos-para-evitar-incidentes>>. Acesso em: 3 de outubro de 2017.

FOTO ANTIGAS DE FLORIANÓPOLIS. *Florianópolis em 1929 - Avenida Beira-mar Norte, ao centro o Colégio Catarinense*. Fotografia. Disponível em: <<http://fotosantigasflorianopolis.blogspot.com.br>> Acesso em: 31 de janeiro de 2018.

FRANÇA, Robson dos Santos; MARIETTO, Maria das Graças Bruno; STEINBERGER, Margarethe Born. A multi-agent model for panic behavior in crowds. *14th Portuguese Conference on Artificial Intelligence*, p. 463-474. 2009.

FUNDAÇÃO CATARINENSE DE CULTURA. *Museu Histórico de Santa Catarina*. Disponível em: <<http://www.fcc.sc.gov.br/mhsc/index.php>> Acesso em: 04 de outubro de 2017.

FUNDAÇÃO CATARINENSE DE CULTURA. *Museu Histórico de Santa Catarina. Plano museológico – Diagnóstico arquitetônico*. Plantas, elevações e cortes. Abr / 2015.

FUNDAÇÃO CATARINENSE DE CULTURA. *O Teatro*. Disponível em: <<http://www.cultura.sc.gov.br/espacos/tac/o-teatro>> Acesso em: 29 de abril de 2018.

FUNDAÇÃO CATARINENSE DE CULTURA. *Projeto de Restauração do Teatro Álvaro de Carvalho*. Plantas, cortes e detalhamentos. Jun / 2003.

FUNDAÇÃO CATARINENSE DE CULTURA. *Tombamento*. 2010. Disponível em <<http://www.cultura.sc.gov.br/a-fcc/sobre/patrimoniocultural/patrimonio-material>> Acesso em 06 de junho de 2017.

GAMBÔA, Róbinson. *Florianópolis: Escola Lauro Muller completa 104 anos nesta terça. Tudo Sobre Floripa*, 2016. Disponível em < <http://www.http://www.tudosobrefloripa.com.br>> Acesso em 22 de setembro de 2017.

GERLACH, Gilberto. *Ilha de Santa Catarina: Florianópolis*. Clube de Cinema Nossa Senhora do Desterro, Tomo II, 615 p. São José: 2010.

GOOGLE MAPS. *Recorte da visualização de satélite em 3D*. 2018. Disponível em: <<http://google.com.br/maps>> Acesso em: 31 de janeiro de 2018.

GOUVEIA, Antônio Maria Claret de. *Análise de risco de incêndio em sítios históricos*. Brasília, IPHAN / Monumenta, 1ª edição, 2006.

GOUVEIA, Antônio Maria Claret de.; ETRUSCO, Paula. Tempo de escape em edificações: os desafios do modelamento matemático de incêndio no Brasil. *REM: Revista Escola de Minas*, v. 55, n. 4, p. 257-261, out/dez. 2002.

GRIBAUDO, Marco; IACONO, Mauro; LEVIS, Alexander H. An IoT-based monitoring approach for cultural heritage sites: The Matera case. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, v. 29, n. 11, 2017.

HADDOW, George; BULLOCK, Jane; COPPOLA, Damon. *Introduction to Emergency Management*. Butterworth-Heinemann. 5th Edition, 2013.

HADJISOPHOCLEOUS, George V.; BENICHOU, Nouredine. Performance criteria used in fire safety design. *Automation in construction*, v. 8, n. 4, p. 489-501, 1999 apud SILVA, 2003.

HELBING, Dirk et al. Simulation of pedestrian crowds in normal and evacuation situations. *Pedestrian and evacuation dynamics*, v. 21, n. 2, p. 21-58, 2002.

HELBING, Dirk; JOHANSSON, Anders. Pedestrian, crowd, and evacuation dynamics. *arXiv preprint arXiv:1309.1609*, 2013.

HELM, Joana. *Incêndio no auditório do Memorial da América Latina*. ArchDaily, 2013. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/01-156889/incendio-no-auditorio-do-memorial-da-america-latina>> Acesso em: 03 de maio de 2018.

INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION – CIB. Rational fire safety engineering approach to fire of buildings. CIB Publication 269. *The Netherlands: CIB W014 Fire*, 48 p., 2001. Disponível em: <<http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB18181.pdf>> Acesso em: 02 de Agosto de 2017.

KHOLSHEVNIKOV, Valerii V.; SAMOSHIN, Dmitrii A. Movement regularities of pedestrian flow – basics for evacuation modelling and management. *Resilience of Cities to Terrorist and other Threats*. Moscou, 2008.

KINATEDER, Max T.; KULIGOWSKI, Erica D.; RENEKE Paul A.; PEACOCK, Richard D. Risk perception in fire evacuation behavior revisited: definitions, related concepts, and empirical evidence. *Fire science reviews*, v. 4, n. 1, p. 1, 2015.

KLINOFF, Robert W. *Introduction to fire protection*. 2nd edition, 2003.

KLÜPPEL, Griselda Pinheiro; SANTANA, Mariely Cabral de. Manual de conservação preventiva para edificações. *Brasília: Programa Monumenta / IPHAN*, 2005.

KULIGOWSKI, Erica D.; MILKE, James A. A Performance-Based Design of a Hotel Building Using Two Egress Models: A Comparison of the Results. *Human Behaviour in Fire Symposium*. p. 399-410, 2004.

LAVELL, A. *Gestión local del riesgo*. Nociones y precisiones en torno al concepto la práctica. CEPREDEAC-PNUD, 2003.

LE BON, Gustave. *The Crowd: A study of the popular mind*. The Macmillan, 1986 apud SOUZA, 2015.

LEIJONMARCK, Eric; OLERGÅRD, Thomas. *Modelling of panicking pedestrians during emergency evacuation*. Thesis – Royal Institute of Technology, 2013.

LENA, Kecklund; KRISTIN, Andrée; STAFFAN, Bengtson; SARA, Willander; ELENA, Siré. How do people with disabilities consider fire safety and evacuation possibilities in historical buildings?: A Swedish case study. *Fire technology*, v. 48, n. 1, p. 27-41, 2012.

LIMA, Jeferson. Patrimônio incendiado. *A Notícia*, 2002. Disponível em <<http://www1.an.com.br/ancapital/2002/mai/12/1ult.htm>> Acesso em: 19 de fevereiro de 2016.

LOURENÇO, Júlia Antunes. Escola de Lauro Müller foi equipada com o que havia de melhor nas primeiras décadas do século XX. *Diário Catarinense*, 2011. Disponível em: <<http://dc.clicrbs.com.br/sc/noticia/2011/11/escola-de-lauro-muller-foi-equipada-com-o-que-havia-de-melhor-nas-primeiras-decadas-do-seculo-xx-3562092.html>> Acesso em: 22 de setembro de 2017.

LUCENA, Renata Batista. Aplicação comparativa de métodos de mapeamento de riscos de incêndio nos centros urbanos das cidades de Coimbra e Porto Alegre. Dissertação – UFRGS. Porto Alegre, 188 f., 2014.

MANIFESTO DE AMSTERDÃ. IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico Artístico Nacional. Amsterdã, 1975. Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br>> Acesso em: 02 de junho de 2017.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. *Fundamento de Metodologia Científica*. Editora Atlas, 5ª Edição, São Paulo, 2003.

MARTÉN, Johan Blomstrand; HENNINGSSON, Johan. *Verification and Validation of Viswalk for Building Evacuation Modelling*. Lund, 2014

MATTEDI, Domênica Loss. *Uma contribuição ao estudo do processo de projeto de segurança contra incêndio baseado em desempenho*. 228 p. Dissertação – UFOP, Ouro Preto, 2005.

MESQUITA, Lígia. *De luxo modernista a ocupação precária: a história de mais de meio século do prédio que desabou em São Paulo*. BBC Brasil, 2018. Disponível em <<http://www.bbc.com/portuguese/brasil-43963439>> Acesso em: 3 de maio de 2018.

MINAS GERAIS (Estado). Decreto nº 44.270 de 31 de março de 2006. *Regulamento de Segurança Contra Incêndio e Pânico nas edificações e áreas de risco no Estado de Minas Gerais*, 2006.

MITIDIERI, Marcelo Luis; IOSHIMOTO, Eduardo. *Proposta de classificação de materiais e componentes construtivos com relação ao comportamento frente ao fogo: reação ao fogo*. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. EPUSP. São Paulo, nº 222, 1998.

MONTEIRO, S. D. *Análise de risco de incêndio aplicada ao centro histórico de Cuiabá*. 45 f. Monografia – UFMG, Cuiabá, 2010.

MONUMENTA, PROGRAMA. *Sítios Históricos e Conjuntos Urbanos de Monumentos Nacionais*. Volume I. Norte, Nordeste e Centro Oeste. Brasília, 2005.

MORAES, Poliana Dias de; RODRIGUES, João Paulo Correia; SANTOS, Susana Otero. Estudo paramétrico do comportamento ao fogo de elementos de madeira. In: *Congresso Ibero Latino-Americano em Métodos Computacionais para Engenharia*, 2009.

MUNAIER, Fabiana De Lucca. Desafios contemporâneos: a sociedade na preservação do patrimônio e prevenção contra incêndio nos centros históricos – O caso de Sabará. *Biblioteca Virtual Fantásticas Veredas – FGR*. 18 p. Belo Horizonte, 2011.

NAPPI, Manuela Marques Lalane. *Modelo multicritério de decisão com foco na logística humanitária a partir de medidas de desempenho para abrigos temporários*. 213 f. Tese – UFSC. Florianópolis, 2016

NAPPI, Sérgio Castello Branco. *Uma solução alternativa para prorrogação da vida útil dos rebocos com salinidade em edifícios históricos*. 129 f. Tese – UFSC. Florianópolis, 2002.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. *Protection of Cultural Resources* - NFPA 909, Quincy, MA, 2001 apud ONO, 2004.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. *Fire Protection in Historic Structures* -NFPA 914, Quincy, MA, 2001 apud ONO, 2004.

NOVAES, Antônio Galvão. *Sistemas logísticos*. Edgard Blücher. São Paulo, 1989.

OCHOA, Alberto; RUDOMIN, Isaac; VARGAS-SOLAR, Genoveva; ESPINOSA-OVIEDO, Javier; PÉREZ, Hugo; ZECHINELLI-MARTINI, José-Luis. Humanitarian logistics and cultural diversity within crowd simulation. *Computacion y sistemas*, v. 21, n. 1, p. 7-21, 2017.

ONO, Rosária et al. Análise das condições de segurança contra incêndio em edificações através de dados estatísticos de atividade de bombeiro. In: *NUTAU*, São Paulo. 9 p. 1998 apud MATTEDI, 2005.

ONO, Rosaria. Proteção do Patrimônio histórico-cultural contra incêndio em edificações de interesse de preservação. *Palestra apresentada na Fundação Casa de Rui Barbosa*. Rio de Janeiro, 2004.

ONO, Rosaria; VITTORINO, Fulvio. Sistemas de escadas em edifícios altos – avaliação de sua estanqueidade a fumaça em situações de incêndio. In: *NUTAU*, São Paulo. p. 1 – 8, 1998 apud WAGNER, 2008.

ONO, Rosaria. *O impacto do método de dimensionamento das saídas de emergência sobre o projeto arquitetônico de edifícios altos: uma análise crítica e proposta de aprimoramento*. 457 f. Tese de Livre-Docência – FAUUSP. São Paulo, 2010.

PASSOS, Júlio César. Nota técnica nº 1. *Camada limite*. Departamento de Engenharia Mecânica. p. 4. UFSC, 2014. Disponível em: <https://www.lepten.ufsc.br/disciplinas/emc5404/arquivos/pdf/nt_1.pdf> Acesso em: 08 de outubro de 2017.

PI ARQUITETURA SC LTDA. *Projeto arquitetônico as built e adaptação NBR 9050* – Colégio Catarinense. E01 – Prédio Santo Inácio – Substituição de projeto com acréscimo. Desenhista: Ilmar. 10/2013, Revisão 06/2017. Folhas 01 a 04 e memorial descritivo.

POLLUM, Jessica. *A segurança contra incêndio em edificações históricas*. 332 f. Dissertação – UFSC. Florianópolis. 2016.

PROULX, Guylene. *Cool under fire*. Fire Protection Engineering, nº. 16, Cleveland. p. 23-25, 2002.

PTV GROUP. *Brochura do Viswalk*. Disponível em: <http://vision-traffic.ptvgroup.com/fileadmin/files_ptvvision/Downloads_N/0_General/2_Products/3_PTV_Viswalk/EN-UK_PTV_Viswalk_Brochure.pdf> Acesso em: 03 de outubro de 2017.

PTV GROUP. *PTV Vissim User Manual*. Karlsruhe, Germany, 2018.

QEDU. Lauro Müller (EEB): Matrículas e infraestrutura. Censo Escolar / INEP, 2016 Disponível em: <http://www.qedu.org.br/escola/224709-eeb-lauro-muller/censo-escolar?year=2016&dependence=0&localization=0&education_stage=0&item> Acesso em: 22 de setembro de 2017.

RAMOS, André Filipe Ferreira Ramos. *Análise de desempenho de uma interface na perspectiva da circulação pedonal com recurso à micro-simulação: o caso de estudo do Colégio Militar*. Dissertação. Instituto Superior Técnico. Lisboa, 2015.

ROBERTSON, James C. *Introduction to fire prevention*. 3rd edition. Macmillan Publishing Company. 326 p. 1989.

RODRIGUES, Ana Sofia Ferreira. *Risco de incêndio em centros históricos: índice de risco*. Dissertação. Universidade de Aveiro. Aveiro, 2010.

RODRIGUES, Eduardo Estevam Camargo. *Sistema de gestão da segurança contra incêndio e pânico nas edificações: fundamentação para uma regulamentação nacional*. 336 f. Tese – UFRGS. Porto Alegre, 2016.

SANTA CATARINA. *Constituição do Estado de Santa Catarina*. 120 p. Florianópolis, 1989.

SANTOS, Enise Aragão dos; VILLAR, Cristiane Biazzin; BURGARELLI, Elaine. Logística humanitária: Conceitos, relacionamentos e oportunidades. *SIMPOI*. São Paulo, 2012.

SALDANHA E FONTES ENGENHARIA LTDA. *Colégio Catarinense – Prédio principal*: Projeto preventivo contra incêndio. Projeto executivo. Desenhista: Alexandre. Nov / 2007. Projeto 1175. Folhas I-01 a I-07.

SCHEER, Sérgio; BARANOSKI, Emerson Luiz. A utilização de simuladores de incêndio como ferramenta auxiliar para o desenvolvimento de projetos de arquitetura e de prevenção de incêndio. In: *Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios*, VII. Curitiba. p. 1-8 2007 apud WAGNER, 2008.

SEITO, Alexandre Itiu. (Coord.). *A segurança contra incêndio no Brasil*. Projeto Editora, 496p. São Paulo, 2008.

SERPA, Fabíola Bristot. *A segurança contra incêndio como abordagem de conservação do patrimônio histórico edificado*: a aplicação do sistema de projeto baseado em desempenho em edifícios históricos em Florianópolis, SC. 204 f. Dissertação – UFSC. Florianópolis, 2009.

SHI, Jianyong; REN, Aizhu; CHEN, Chi. Agent-based evacuation model of large public buildings under fire conditions. *Automation in Construction*, v. 18, n. 3, p. 338-347, 2008.

SHIWAKOTI, Nirajan, SARVI, MAJID, Rose, Geoff, BURD, Martin, 2011. Animal dynamics based approach for modelling pedestrian crowd egress under panic conditions. *Transportation Research, Part B* 45, 1433–1449, 2011.

SHIWAKOTI, Nirajan; SARVI, Majid; ROSE, Geoff. Modelling pedestrian behaviour under emergency conditions—state-of-the-art and future directions. In: *Australasian Transport Research Forum (ATRF)*, Australia. p. 457-473, 2008.

SILVA, Andreza Carla Procoro. *Gerenciamento de riscos de incêndio em espaços urbanos históricos: Uma avaliação com enfoque na percepção do usuário*. 217 f. Dissertação - UFPE. Recife, 2003.

SILVA, Pedro Neto Roberto; POLETI, Edison Roberto. Métodos de restauração e do uso de determinados materiais na revitalização de construções históricas. In: *Congresso Internacional na Recuperação, Manutenção e Restauração de Edifícios*, 2. Rio de Janeiro, 2006.

SILVA, Valdir Pignatta; VALENTIN Marcos Vargas; ONO, Rosária. Prevenção contra incêndio no projeto de arquitetura. Rio de Janeiro: *IABr/CBCA*, 72 p, 2010.

SILVA, Vinicius Montenegro et al. Evacuação da Boate Kiss: Uma simulação multiagente do cenário real em relação ao ideal. In: *Conferência Ibero Americana de Computação Aplicada*, At Lisboa, Portugal, 2016.

SOARES, Ana Carolina. *Bombeiro relata a operação no incêndio no Museu da Língua Portuguesa*. Veja SP, 2017. Disponível em: <<https://vejasp.abril.com.br/cidades/incendio-museu-da-lingua-portuguesa>> Acesso em: 20 de setembro de 2017.

SOBHANI, Amir; SARVI, Majid; DUIVES, Dorine; EJTEMAL, Omid; AGHABAYK, Kayvan; HOOGENDOORN, Serge. Exploring the relationship of exit flow and jam density in panic scenarios using animal dynamics. *Transportation Research Procedia*, 2, p.745-751, 2014.

SOUTHWORTH, Frank. *Regional Evacuation Modeling: A State-of-the-art Review*. Tech. Rep. ORNL/TM-11740, ORNL Oak Ridge National Laboratory, 1991.

SOUZA, João Carlos. A importância do projeto arquitetônico na prevenção contra incêndios. In: *NUTAU*, 11p. São Paulo, 1996.

SOUZA, João Carlos. Emergências em locais com reunião de grande público - O papel da logística humanitária. *XXIX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET*, 2015.

THOMAS, Anisya. Humanitarian logistics: enabling disaster response. *The Fritz Institute*, 2007. Disponível em: <<http://www.fritzinstitute.org/pdfs/whitepaper/enablingdisasterresponse.pdf>> Acesso em: 12 de agosto de 2017.

Transportation Research Board – TRB. *A Guide to Planning Resources on Transportation and Hazards*, 2010. Disponível em: <<http://www.trb.org/main/blurbs/162332.aspx>> Acesso em: 23 de outubro de 2017.

ULICNY, Branislav; THALMANN, Daniel. Crowd Simulation for Virtual Heritage. In: *Proceedings first international workshop on 3D*. p. 28-32, 2002.

VALENTIN, Marcos Vargas; ONO, Rosaria. Saídas de emergência e comportamento humano: Uma abordagem histórica e o estado atual da arte no Brasil. *NUTAU*, 2006

VARGAS, Marina; GRAMANI, Liliana Madalena; KAVISKI, Eloy; BALBO Fábio André. Modeling the flow of pedestrians by the macroscopic theory. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 34, n. 4, p. 1-10, 2012.

VARGAS, Mauri Resende; SILVA, Valdir Pignatta. Resistência ao Fogo das Estruturas de Aço. *Centro Brasileiro da Construção em Aço – CBCA*, 76 p. Rio de Janeiro, 2003.

VEIGA, Eliane Veras da. *Florianópolis: Memória urbana*. Fundação Franklin Cascaes, 464 p. Florianópolis: 3ª edição, 2010.

VORST, Harrie C. M. Evacuation Models and Disaster Psychology. *Procedia Engineering*, 3, p. 15-21, 2010.

WAGNER, Robson. *Projeto para saídas de emergência: o conceito de desempenho em Santa Catarina*. 119 f. Dissertação – UFSC. Florianópolis, 2008.

YANG, L.Z.; ZHAO, D.L.; LI, J.; FANG, T.Y. Simulation of the kin behavior in building occupant evacuation based on cellular automaton. *Building and Environment*, v. 40, n. 3, p. 411-415, 2005.

YIN, Robert K. Estudo de Caso: planejamento e métodos. Porto Alegre: Bookman, 2005. 3 ed. 212p.

ZYDA, Michael. From Visual simulation to virtual reality to games. *Computer*, v. 38, p. 25-32, 2005.

APÊNDICE A – Quadro da análise dos parâmetros de segurança exigidos pela IT nº 35 aplicados aos três edifícios estudados.

IT	Item	Medidas de Segurança contra Incêndio e Pânico	Museu Histórico de Santa Catarina		Teatro Álvaro de Carvalho		Colégio Catarinense	
			Exigências ITs	Atende	Exigências ITs	Atende	Exigências ITs	Atende
38		Controle de Materiais de Acabamento e de Revestimento	X	Não. / Não possui CMAR.	X	Não. / Não possui CMAR.	X	Não. / Não possui CMAR.
35	7.2	Iluminação de emergência	X	Sim. / Não foram testados, porém foram feitas observações quanto ao posicionamento dos blocos autônomos.	X	Sim. / Não foram testados, porém foram feitas observações quanto ao posicionamento dos blocos autônomos.	X	Sim. / Não foram testados, porém foram feitas observações quanto ao posicionamento dos blocos autônomos.
35	7.1	Saídas de Emergência	X	Sim. / É aplicada limitação do número de visitantes concomitantes. Será aplicada a Evacuação Virtual através de software.	X	Sim.	X	Sim.
35	7.1.1	As rotas de fuga devem conduzir a população a um local seguro, preferencialmente ao ar livre, no nível do solo						
35	7.1.2	Largura das saídas de emergência (escada, rampas e corredores)						
35	7.1.3	Acessos						
35	7.1.4	Número de saídas nos pavimentos de descargas						
35	7.1.5	Portas nas rotas de fuga	Sim.	Não. / As portas que abrem em sentido contrário ficam fechadas, sem tranca e não possuem sinalização previstas na IT nº 15 - Sinalização de emergência. Não possuem barra antipânico e possuem trava de madeira durante o seu funcionamento.	X	Não. / As portas que abrem em sentido contrário a saída ficam fechadas, sem tranca e não possuem sinalização previstas na IT nº 15 - Sinalização de emergência.		
35	7.1.6	Corrimão e guarda-corpo	Sim. / Porém possui elementos que possibilitam enganchamento.	Sim.	Não. / Observado guarda-corpos com menos de 92 cm, balaustradas vazadas que passam esfera de 15 cm e possuem elementos que possibilitam enganchamento.			
35	7.1.7	Escadas / Rampas	Sim.	Sim.	Sim. / Porém não atende parâmetro do guarda-corpo.			
35	7.3	Sinalização de Emergência	X	Sim. / Porém foram observados pontos sem a sinalização de saída de emergência previstas.	X	Sim. / Porém foram observados pontos sem a sinalização de saída de emergência previstas na IT nº 15 - Sinalização de emergência.	X	Sim. / Porém foram observados pontos sem a sinalização de saída de emergência previstas na IT nº 15 - Sinalização de emergência.
35	7.8	Extintores	X	Não. / Possui extintores de CO ₂ nas áreas com elementos artísticos móveis e integrados.	X	Sim.	X	Não. / Possui extintores de PQS nas áreas com elementos artísticos móveis. Não possui unidades extintoras de gás inerte nas áreas junto a acervo documental.
35	7.4	Brigada de Incêndio	X	Não. / Não possui brigada.	X	Não. / Não possui brigada.	X	Não. / Não possui brigada.
35	7.5	Plano de Intervenção de Incêndio	X	Não. / Não possui plano.	X	Não. / Não possui plano.		
35	7.7	Alarme de incêndio	X	Sim. / Porém os acionadores de alarme do piso superior encontram-se locados sobre as pinturas murais.	X	Sim.	X	Sim.
35	7.7	Deteção de incêndio	X	Não. / Não foram observados detectores.	X	Sim. / Possui detectores em depósitos e junto a máquinas de ar condicionado locados no forro.		
35	7.6	Hidrantes e Mangotinhos	X	Não. / O museu não possui hidrantes ativos, esses estão inoperantes. Os abrigos de mangueira do piso superior encontram-se locados sobre as pinturas murais.	X	Sim.	X	Sim. / Porém possui hidrantes em área com elementos artísticos móveis.
04		Acesso a Viaturas					X	Sim.
06		Segurança Estrutural Contra Incêndio					X	Sim.
07	5.2	Compartimentação Vertical					X	Não. / Apesar de a separação entre aberturas das fachadas ser feita por parapeito com mais de 1,20 m, as escadas não são do tipo enclausuradas. Ressalta-se que não foi possível determinar a composição dos entrespisos das áreas antigas do prédio para determinar que essas garantam a separação física de pavimentos no interior dos edifícios. Não se possui evidências de ensaios nas vedações das prumadas de serviço e não pôde ser constatada vedação corta-fogo junto a dutos.

Fonte: Elaborado pela autora a partir de CBMMG, 2017a.

APÊNDICE B – Planilha dos cálculos de risco do Museu Histórico de Santa Catarina.

Memória de Cálculo do Risco - Análise Global de Risco de Incêndio			
Edificação: Museu Histórico Cruz e Souza			
Localização: Praça XV de Novembro, nº 227 - Centro, Florianópolis / SC			
Exposição ao risco de incêndio (Fatores)			
Características construtivas	Tipo: V	$f_1 = 2,0$	
Densidade da carga de incêndio (MJ /m²)	$q = 1.738,50$	$f_2 = 1,7$	
Altura do compartimento (m)	$H = 13,00$	$f_3 = 2,3$	
Profundidade do piso de subsolo (m)	$S = 2,70$		
Distância do CB (km)	$D = 0,65$	$f_4 = 1,0$	
Condições de acesso	Tipo: Restrito	$f_5 = 1,25$	
Risco de Ativação (Fatores)			
Natureza da Ocupação		$A_1 = 1,12$	
Falhas Humanas		$A_2 = 1,75$	
Qualidade das instalações elétricas e de gás		$A_3 = 1,50$	
Risco Global de Incêndio	$E = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot f_5$	Valor obtido E: 9,78	$R = E \times A$
	$A = A_1 \cdot (A_2 \text{ ou } A_3)^{(1)}$	Valor obtido A: 1,96	Valor obtido R: 19,16
Fatores de Segurança			
Descrição	Fator	Valor Calculado	
		Encontrado	Proposto
Alarme de incêndio com acionamento manual	S_1	1,5	
Detector de incêndio	S_2		
Detector de calor e fumaça com transmissão automática do sinal de alarme para o Corpo de Bombeiros ou para Central de segurança da Brigada de Incêndio da Edificação	S_3		
Aparelhos extintores	S_4	1,5	
Sistema de hidrantes internos à edificação sem reserva técnica conforme as normas.	S_5		
Sistema de hidrantes internos à edificação com reserva técnica conforme as normas.	S_6		
Brigada de incêndio em plantão durante o funcionamento	S_7		
Brigada de incêndio em plantão permanente	S_8		
Instalação interna de chuveiros automáticos	S_9		
Instalação externa de chuveiros automáticos	S_{10}		
Sistema de hidrantes externo com abastecimento por meio de reservatório público.	S_{11}	6,0	
Sistema de hidrantes externo com abastecimento por meio de reservatório particular ou comunitário.	S_{12}		
Reserva de água	S_{13}		
Resistência ao fogo ≥ 30	S_{12}		
Resistência ao fogo ≥ 60	S_{13}		
Resistência ao fogo ≥ 90	S_{14}		
Resistência ao fogo ≥ 120	S_{15}	4,0	
Planta de risco	S_{16}		
Plano de intervenção	S_{17}		
Plano de abandono	S_{18}		
Sinalização das saídas de emergência e rotas de fuga	S_{19}	1,2	
Iluminação de emergência	S_{20}	1,2	
Controle de Materiais de Acabamento e de Revestimento	S_{21}		
Controle de fumaça	S_{22}		
Compartimentação horizontal	S_{23}		
Compartimentação vertical	S_{24}		
Fator de Segurança total	$S = S_{11A} \times S_{11B} \times S_{11C} \times S_{11D} \times S_{11E}$	Valor obtido S:	64,8
Coeficiente de segurança	$\gamma = \frac{S}{R}$	Valor obtido γ :	3,4

Fonte: Elaborado pela autora a partir de CBMMG, 2017a.

APÊNDICE C – Planilha dos cálculos de risco do Teatro Álvaro de Carvalho.

Memória de Cálculo do Risco - Análise Global de Risco de Incêndio			
Edificação: Teatro Álvaro de Carvalho			
Localização: Rua Marechal Guilherme, nº 26 - Centro, Florianópolis/SC.			
Exposição ao risco de incêndio (Fatores)			
Características construtivas	Tipo: V	$f_1 = 2,0$	
Densidade da carga de incêndio (MJ /m²)	$q = 876,13$	$f_2 = 1,5$	
Altura do compartimento (m)	$H = 9,60$	$f_3 = 2,0$	
Profundidade do piso de subsolo (m)	$S = 3,0$		
Distância do CB (km)	$D = 0,55$	$f_4 = 1,0$	
Condições de acesso	Tipo: Fácil	$f_5 = 1,0$	
Risco de Ativação (Fatores)			
Natureza da Ocupação		$A_1 = 1,12$	
Falhas Humanas		$A_2 = 1,75$	
Qualidade das instalações elétricas e de gás		$A_3 = 1,50$	
Risco Global de Incêndio	$E = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot f_5$	Valor obtido E: 6,0	$R = E \times A$
	$A = A_1 \cdot (A_2 \text{ ou } A_3)^{(1)}$	Valor obtido A: 1,96	Valor obtido R: 11,76
Fatores de Segurança			
Descrição	Fator	Valor Calculado	
		Encontrado	Proposto
Alarme de incêndio com acionamento manual	S_1	1,5	
Detector de incêndio	S_2	2,0	
Detector de calor e fumaça com transmissão automática do sinal de alarme para o Corpo de Bombeiros ou para Central de segurança da Brigada de Incêndio da Edificação	S_3		
Aparelhos extintores	S_4	1,5	
Sistema de hidrantes internos à edificação sem reserva técnica conforme as normas.	S_5	4,0	
Sistema de hidrantes internos à edificação com reserva técnica conforme as normas.	S_6		
Brigada de incêndio em plantão durante o funcionamento	S_7		
Brigada de incêndio em plantão permanente	S_8		
Instalação interna de chuveiros automáticos	S_9		
Instalação externa de chuveiros automáticos	S_{10}		
Sistema de hidrantes externo com abastecimento por meio de reservatório público.	S_{11}	6,0	
Sistema de hidrantes externo com abastecimento por meio de reservatório particular ou comunitário.	S_{12}		
Reserva de água	S_{13}		
Resistência ao fogo ≥ 30	S_{12}		
Resistência ao fogo ≥ 60	S_{13}		
Resistência ao fogo ≥ 90	S_{14}		
Resistência ao fogo ≥ 120	S_{15}	4,0	
Planta de risco	S_{16}		
Plano de intervenção	S_{17}		
Plano de abandono	S_{18}		
Sinalização das saídas de emergência e rotas de fuga	S_{19}	1,2	
Iluminação de emergência	S_{20}	1,2	
Controle de Materiais de Acabamento e de Revestimento	S_{21}		
Controle de fumaça	S_{22}		
Compartimentação horizontal	S_{23}		
Compartimentação vertical	S_{24}		
Fator de Segurança total	$S = S_{11A} \times S_{11B} \times S_{11C} \times S_{11D} \times S_{11E}$	Valor obtido S:	230,4
Coeficiente de segurança	$\gamma = \frac{S}{R}$	Valor obtido γ :	19,6

Fonte: Elaborado pela autora a partir de CBMMG, 2017a.

APÊNDICE D – Planilha dos cálculos de risco do Colégio Catarinense.

Memória de Cálculo do Risco - Análise Global de Risco de Incêndio			
Edificação: Prédio principal do Colégio Catarinense			
Localização: Rua Esteves Junior, nº 711 - Centro, Florianópolis / SC			
Exposição ao risco de incêndio (Fatores)			
Características construtivas	Tipo: Q	$f_1 = 1,0$	
Densidade da carga de incêndio (MJ /m ²)	q =	$f_2 = 1,2$	
Altura do compartimento (m)	H = 18,20	$f_3 = 1,5$	
Profundidade do piso de subsolo (m)	S = 2,00		
Distância do CB (km)	D = 1,0	$f_4 = 1,0$	
Condições de acesso	Tipo: Restrito	$f_5 = 1,25$	
Risco de Ativação (Fatores)			
Natureza da Ocupação		$A_1 = 1,25$	
Falhas Humanas		$A_2 = 1,75$	
Qualidade das instalações elétricas e de gás		$A_3 = 1,12$	
Risco Global de Incêndio	$E = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot f_5$	Valor obtido E: 2,25	R = E x A
	$A = A_1 \cdot (A_2 \text{ ou } A_3)^{(1)}$	Valor obtido A: 1,96	Valor obtido R: 4,41
Fatores de Segurança			
Descrição	Fator	Valor Calculado	
		Encontrado	Proposto
Alarme de incêndio com acionamento manual	S_1	1,5	
Detector de incêndio	S_2	2,0	
Detector de calor e fumaça com transmissão automática do sinal de alarme para o Corpo de Bombeiros ou para Central de segurança da Brigada de Incêndio da Edificação	S_3		
Aparelhos extintores	S_4	1,5	
Sistema de hidrantes internos à edificação sem reserva técnica conforme as normas.	S_5		
Sistema de hidrantes internos à edificação com reserva técnica conforme as normas.	S_6	10,0	
Brigada de incêndio em plantão durante o funcionamento	S_7		
Brigada de incêndio em plantão permanente	S_8		
Instalação interna de chuveiros automáticos	S_9		
Instalação externa de chuveiros automáticos	S_{10}		
Sistema de hidrantes externo com abastecimento por meio de reservatório público.	S_{11}		
Sistema de hidrantes externo com abastecimento por meio de reservatório particular ou comunitário.	S_{12}		
Reserva de água	S_{13}	2,0	
Resistência ao fogo ≥ 30	S_{12}		
Resistência ao fogo ≥ 60	S_{13}		
Resistência ao fogo ≥ 90	S_{14}		
Resistência ao fogo ≥ 120	S_{15}	4,0	
Planta de risco	S_{16}		
Plano de intervenção	S_{17}		
Plano de abandono	S_{18}		
Sinalização das saídas de emergência e rotas de fuga	S_{19}	1,2	
Iluminação de emergência	S_{20}	1,2	
Controle de Materiais de Acabamento e de Revestimento	S_{21}		
Controle de fumaça	S_{22}		
Compartimentação horizontal	S_{23}	2,0	
Compartimentação vertical	S_{24}	2,0	
Fator de Segurança total	$S = S_{11A} \times S_{11B} \times S_{11C} \times S_{11D} \times S_{11E}$	Valor obtido S: 320,0	
Coeficiente de segurança	$\gamma = \frac{S}{R}$	Valor obtido γ : 72,6	

Fonte: Elaborado pela autora a partir de CBMMG, 2017a.

ANEXO A – Exigências para edificações com altura menor ou igual a 12,00 m

Medidas de Segurança contra Incêndio e Pânico	A, C, D, I-1, I-2	B	E	F		H
				F-1, F-5, F-6, F-11	F-2, F-3, F-8, F-9, F-10	
Controle de Materiais de Acabamento e de Revestimento				X ⁽²⁾	X ^(2, 9)	
Iluminação de emergência	X ⁽³⁾	X ^(3,4)	X ⁽³⁾	X ⁽³⁾	X ⁽³⁾	X ⁽³⁾
Saídas de Emergência	X	X	X	X	X	X
Sinalização de Emergência	X	X	X	X	X	X
Extintores	X	X	X	X ⁽⁵⁾	X ⁽⁵⁾	X ⁽⁵⁾
Brigada de Incêndio	X ⁽¹⁾	X ⁽³⁾	X ⁽³⁾	X ⁽³⁾	X ⁽³⁾	X ⁽³⁾
Plano de Intervenção de Incêndio	X ⁽⁶⁾	X	X	X	X	X
Alarme de incêndio	X ⁽¹⁾	X ⁽³⁾	X ⁽³⁾	X ⁽³⁾	X ⁽³⁾	X ⁽³⁾
Deteção de incêndio	X ^(7, 8)	X ⁽¹⁾	X ⁽¹⁾	X ⁽³⁾	X ⁽¹⁾	X ⁽¹⁾
Hidrantes e Mangotinhos	X ⁽¹⁾	X ^(1,4)	X ⁽¹⁾	X ^(1,5)	X ^(1,5)	X ^(1,5)

NOTAS ESPECÍFICAS:

- 1 - Somente para edificações com área superior a 1.200 m².
- 2 - Somente para edificações com população superior a 200 pessoas.
- 3 - Estão isentas as edificações térreas com área menor ou igual a 200 m² e população inferior a 50 pessoas.
- 4 - Estão isentos os motéis que não possuam corredores internos cobertos, previsão nas demais áreas comuns.
- 5 - Para as divisões F-3, H-2 e H-5, os extintores e hidrantes poderão ser instalados em locais com acesso privativo.
- 6 - Somente para edificações com área superior a 750 m².
- 7 - Somente para edificações com área superior a 2000 m².
- 8 - As divisões A - 1 e A - 2 estão isentas da projeção da medida de segurança contra incêndio e pânico.
- 9 - Para a divisão F-2, a sinalização de emergência, orientação e salvamento, não será obrigatória nas edificações térreas com saída de emergência direta para logradouro público ou área livre externa e nas quais não haja divisão espacial.

NOTAS GENÉRICAS:

A - As edificações residenciais (divisões A-1) que compõem o Conjunto Arquitetônico tombado pelo Patrimônio estão dispensadas de medidas de segurança desde que disponham de saídas e acessos independentes.

B - A área a ser considerada para definição de exigências é a "área total da edificação", podendo ser subdividida se os riscos forem isolados.

C - As áreas descobertas utilizadas como estacionamento e manobra de veículos ou estoque de materiais que possuam comunicação direta com o logradouro e sem riscos especiais, estarão isentas das medidas "Extintor de incêndio" e "Hidrantes e Mangotinhos".

D - O Plano de intervenção de incêndio será avaliado pelo Chefe do Serviço de Segurança Contra Incêndio e Pânico das Unidades e Frações de Bombeiros, responsável pela área em que se localiza a edificação, quando da solicitação de vistoria para emissão do AVCB.

E - Edificações com altura superior a 12 m e que não estiverem especificadas no anexo "A" desta Instrução deverão atender às exigências previstas na IT 01 (Procedimentos administrativos), ou poderá adotar outros métodos baseados em desempenho a ser analisado pelo Corpo Técnico.

Fonte: CBMMG, 2017a.

ANEXO B – Tabelas com os fatores para determinação do Risco Global de Incêndio

Tabela B.1 – Fatores de risco de incêndio.

RISCO DE INCÊNDIO		Fatores
Exposição ao Risco de Incêndio	Características construtivas	f ₁
	Grandeza da carga incêndio	f ₂
	Posição da carga de incêndio	f ₃
	Distância do Corpo de Bombeiros	f ₄
	Facilidade do acesso à edificação	f ₅
Risco de Ativação	Natureza da ocupação	A ₁
	Falhas humanas	A ₂
	Qualidade das instalações elétricas e instalações de gás	A ₃

Fonte: CBMMG, 2017a.

Tabela B.2 – Fatores de risco associados às características construtivas (f₁).

TIPO DE EDIFICAÇÃO	CARACTERÍSTICAS	f ₁
Q	Não permite, ou pelo menos, dificulta significativamente a propagação do incêndio nas direções horizontal e vertical.	1,0
T	Não permite, ou pelo menos, dificulta significativamente a propagação do incêndio na direção vertical.	1,25
V	Nenhuma das condições acima.	2,0

Fonte: CBMMG, 2017a.

Tabela B.3 – Fatores de risco à grandeza da carga incêndio (f₂).

DENSIDADE DE CARGA INCÊNDIO (MJ/m ²)	f ₂
$q \leq 100$	0,5
$100 \leq q < 200$	1,0
$200 \leq q < 300$	1,1
$300 \leq q < 400$	1,2
$400 \leq q < 600$	1,3
$600 \leq q < 800$	1,4
$800 \leq q < 1200$	1,5
$1200 \leq q < 1700$	1,6
$1700 \leq q < 2500$	1,7
$2500 \leq q < 3500$	1,8
$3500 \leq q < 5000$	1,9
$5000 \leq q < 7000$	2,0
$7000 \leq q < 10000$	2,1
$10000 \leq q < 14000$	2,2
$14000 \leq q < 20000$	2,3

Fonte: CBMMG, 2017a.

Tabela B.4 – Fatores de risco associados a posição da carga de incêndio (f3).

TIPO DA EDIFICAÇÃO	PROFUNDIDADE DO SUBSOLO (m)			ALTURA DO PISO MAIS ELEVADO (m)		
	S > 4	4 < S < 8	8 < S < 12	H < 6	6 < H < 12	6 < H < 12
Q	1,0	1,9	3,0	1,0	1,3	1,5
T	1,3	2,4	4,0	1,3	1,6	2,0
V	1,5	3,0	4,5	1,5	2,0	2,3

Fonte: CBMMG, 2017a.

Tabela B.5 – Fatores de risco associados à distância do Corpo de Bombeiros (f4).

DENOMINAÇÃO	DISTÂNCIA(km)	f ₄
1- muito próximo	D < 1	1,0
2 – próximo	1 < D ≤ 6	1,25
3 - Medianamente distante	6 < D ≤ 11	1,6
4 – Distante	11 < D ≤ 16	1,8
5 – Muito distante ou inexistente	D > 16	4,0

Fonte: CBMMG, 2017a.

Tabela B.6 – Fatores de risco associados às condições de acesso (f5).

DENOMINAÇÃO DO ACESSO	CONDIÇÕES DA EDIFICAÇÃO	f ₅
Fácil	1) Acesso da viatura pelo menos a duas fachadas da edificação, quando a edificação é do tipo Q ou T ou a três fachadas, quando a edificação é do tipo V; e 2) Hidrante público instalado no máximo a 75 m da edificação ou instalação de hidrante interno ou externo na edificação.	1,0
Restrito	1) Acesso a uma das fachadas, quando a edificação é do tipo Q ou T ou a duas fachadas quando a edificação é do tipo V; e 2) Hidrante público instalado no máximo a 75 m da edificação ou instalação de hidrante interno ou externo na edificação.	1,25
Difícil	1) Acesso a uma só fachada da edificação; e 2) Hidrante público instalado no máximo a 75 m da edificação ou instalação de hidrante interno ou externo na edificação.	1,6
Muito difícil	Acesso a uma só fachada da edificação; hidrante público a mais de 75 m da edificação.	1,9

Fonte: CBMMG, 2017a.

Tabela B.7 – Fatores de risco devido aos riscos de ativação conforme a ocupação.

DESCRIÇÃO	OCUPAÇÃO	A ₁
Habitacões unifamiliares multifamiliares e coletivas	A	1,25
Hotéis, pensões, pousadas, apart-hotéis e assemelhados.	B	
Escolas de todos os tipos, espaços para cultura física, centros de treinamento e outros.	E	
Comércios e centros de compras.	C	1,50
Escritórios, agências bancárias, oficinas de eletrodomésticos, laboratórios fotográficos, de análises clínicas e químicos.	D	
Restaurantes, lanchonetes, bares, cafés, boates, clubes, salões de baile.	F-6, F-8	
Serviços de saúde e Institucionais.	H	
Locais de reunião de público que não os anteriores.	F-1 a F-11, exceto os grupos anteriores.	1,12

Fonte: CBMMG, 2017a.

Tabela B.8 – Fatores de risco de ativação devido a falhas humanas.

DESCRIÇÃO	A ₂
Usuários treinados e reciclados no treinamento ao menos uma vez por ano.	1,12
Usuários treinados e reciclados no treinamento ao menos uma vez a cada dois anos.	1,25
Usuários não treinados.	1,75

Fonte: CBMMG, 2017a.

Tabela B.9 – Fatores de risco de ativação devido à qualidade das instalações elétricas e de gás.

CARACTERIZAÇÃO DAS INSTALAÇÕES	A ₃
1) Instalações projetadas e executadas segundo as normas técnicas aplicáveis; 2) uso e manutenção regulares.	1,12
1) Instalações projetadas e executadas segundo as normas técnicas aplicáveis; 2) uso inadequado (extensões sem projeto) e manutenção irregular.	1,25
1) Instalações não projetadas segundo as normas técnicas aplicáveis.	1,50

Fonte: CBMMG, 2017a.

Tabela B.10 – Medidas sinalizadoras do incêndio e fatores de segurança.

DESCRIÇÃO	SÍMBOLO	FATOR DE SEGURANÇA
Alarme de incêndio com acionamento manual	S ₁	1,5
Detector de incêndio	S ₂	2,0
Detector de calor e fumaça com transmissão automática do sinal de alarme para o Corpo de Bombeiros ou para Central de segurança da Brigada de Incêndio da Edificação	S ₃	3,0

Fonte: CBMMG, 2017a.

Tabela B.11 – Medidas extintoras e fatores de segurança.

DESCRIÇÃO	SÍMBOLO	FATOR DE SEGURANÇA
Aparelhos extintores	S ₄	1,5
Sistema de hidrantes internos à edificação sem reserva técnica conforme as normas.	S ₅	4,0
Sistema de hidrantes internos à edificação com reserva técnica conforme as normas.	S ₆	10,0
Brigada de incêndio em plantão durante o funcionamento	S ₇	6,0
Brigada de incêndio em plantão permanente	S ₈	8,0
Instalação interna de chuveiros automáticos	S ₉	12,0
Instalação externa de chuveiros automáticos	S ₁₀	6,0

Fonte: CBMMG, 2017a.

Tabela B.12 – Medidas de infraestrutura e fatores de segurança.

DESCRIÇÃO	SÍMBOLO	FATOR DE SEGURANÇA
Sistema de hidrantes externo com abastecimento por meio de reservatório público.	S ₁₁	6,0
Sistema de hidrantes externo com abastecimento por meio de reservatório particular ou comunitário.	S ₁₂	6,0
Reserva de água	S ₁₃	2,0

Fonte: CBMMG, 2017a.

Tabela B.13 – Medidas estruturais e fatores de segurança.

RESISTÊNCIA AO FOGO DA ESTRUTURA (min)	SÍMBOLO	FATOR DE SEGURANÇA
≥ 30	S ₁₂	1,25
≥ 60	S ₁₃	2,0
≥ 90	S ₁₄	3,0
≥ 120	S ₁₅	4,0

Fonte: CBMMG, 2017a.

Tabela B.14 – Medidas acessórias e fatores de segurança.

DESCRIÇÃO	SÍMBOLO	FATOR DE SEGURANÇA
Planta de risco	S ₁₆	1,1
Plano de intervenção	S ₁₇	1,2
Plano de abandono	S ₁₈	1,2
Sinalização das saídas de emergência e rotas de fuga	S ₁₈	1,2
Iluminação de emergência	S ₂₀	1,2
Controle de Materiais de Acabamento e de Revestimento	S ₂₁	6,0
Controle de fumaça	S ₂₂	10,0
Compartimentação horizontal	S ₂₃	2,0
Compartimentação vertical	S ₂₄	2,0

Fonte: CBMMG, 2017a.

ANEXO C – Exigências para edificações do Grupo E.

Divisão	E-1, E-2, E-3, E-4, E-5 e E-6			
	Classificação quanto à altura (em metros)			
	H ≤ 12	12 < H ≤ 30	30 < H ≤ 54	Acima de 54
Acesso de Viaturas	X	X	X	X
Segurança Estrutural contra Incêndio	-	X	X	X
Compartimentação Vertical	-	X ¹	X	X
Saídas de Emergência	X	X	X	X
Plano de Intervenção de Incêndio	-	-	X	X
Brigada de Incêndio	X	X	X	X
Iluminação de Emergência	X	X	X	X
Deteção de Incêndio	-	-	X	X
Alarme de Incêndio	X	X	X	X
Sinalização de Emergência	X	X	X	X
Extintores	X	X	X	X
Hidrantes e Mangotinhos	X	X	X	X
Chuveiros Automáticos	-	-	X	X
Controle de Materiais de Acabamento e de Revestimento	-	X	X	X
Controle de Fumaça	-	-	-	X

NOTAS ESPECÍFICAS:
 1 – Pode ser substituída por chuveiros automáticos, exceto para as compartimentações das fachadas e selagens dos *shafts* e dutos de instalações.

NOTAS GENÉRICAS:
 A – Para as edificações construídas até 01 de julho de 2005, a área considerada para fins de exigências previstas será superior a 1.200 m².
 B – A área a ser considerada para definição de exigências é a “área total da edificação”, podendo ser subdividida se os riscos forem isolados.
 C – As saídas de emergência de edificações construídas até 01 de julho de 2005 poderão atender à Norma Brasileira vigente à época da construção.
 D – As medidas “Acesso de Viaturas”, “Segurança Estrutural contra Incêndio”, “Compartimentação Vertical”, “Chuveiros Automáticos” e “Controle de Fumaça” não se aplicam às edificações construídas até 01 de julho de 2005.
 E – Os locais destinados a laboratórios devem ter proteção em função dos produtos utilizados.

Fonte: CBMMG, 2017b.