

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ARQUITETURA, URBANISMO E PAISAGISMO

Ana Maria Rigão Torres Amoretti

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE EVACUAÇÃO EM CASA  
NOTURNA – COMPORTAMENTO DA MULTIDÃO GUIADO POR  
SINALIZAÇÃO DE EMERGÊNCIA**

Santa Maria, RS, Brasil  
2020

**Ana Maria Rigão Torres Amoretti**

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE EVACUAÇÃO EM CASA NOTURNA –  
COMPORTAMENTO DA MULTIDÃO GUIADO POR SINALIZAÇÃO DE  
EMERGÊNCIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo**.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Cattelan Antochaves de Lima

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Soraia Raupp Musse

Santa Maria, RS, Brasil  
2020



Amoretti, Ana Maria Rigão  
SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE EVACUAÇÃO EM CASA NOTURNA -  
COMPORTAMENTO DA MULTIDÃO GUIADO POR SINALIZAÇÃO DE  
EMERGÊNCIA / Ana Maria Rigão Amoretti.- 2020.  
177 p.; 30 cm

Orientadora: Rogério Cattelan Antochaves de Lima  
Coorientadora: Soraia Raupp Musse  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em  
Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo, RS, 2020

1. Segurança Contra Incêndio 2. Simulação Computacional  
3. Sinalização de Emergência 4. Simulação de Evacuação I.  
Cattelan Antochaves de Lima, Rogério II. Raupp Musse,  
Soraia III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

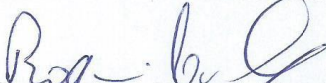
Declaro, ANA MARIA RIGÃO AMORETTI, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

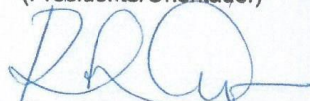
Ana Maria Rigão Torres Amoretti

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE EVACUAÇÃO EM CASA NOTURNA –  
COMPORTAMENTO DA MULTIDÃO GUIADO POR SINALIZAÇÃO DE  
EMERGÊNCIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo**.

Aprovado em 06 de Abril de 2020.

  
Prof. Rogério Cattelan Antócheves de Lima, Dr. (UFSM)  
(Presidente/Orientador)

  
Prof. Rosaria Ono, Dr.ª. (Universidade de São Paulo)

  
Prof. Alexandre Silva de Vargas, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS, Brasil  
2020

Dedico este trabalho aos meus pais e a todos que  
contribuíram para que o mesmo fosse possível.



# AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força, em todos os momentos.

Ao professor Rogério pela oportunidade da orientação. Essa experiência contribuiu para a minha transformação como profissional. Tenho certeza que, mesmo tendo trocado várias vezes de tema, seguirei nessa linha de trabalho e pesquisa. Agradeço também a Professora Soraia pela grande oportunidade de elevar o meu trabalho com ferramentas importantes para o desenvolvimento do mesmo, o que efetivamente contribuiu muito para meu crescimento profissional. Para ambos, agradeço a confiança, o carinho e o estímulo que foram de extrema importância para que eu superasse os desafios do caminho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo, os quais colaboraram significativamente na construção das diferentes etapas da pesquisa. Aos professores da banca que contribuíram para o enriquecimento deste estudo. À Direção do Centro de Tecnologia que confiou a permissão na participação do Comitê de Brasileiro de Segurança contra Incêndio.

Aos meus pais, agradeço imensamente, pois me apoiaram e me deram as condições necessárias para que eu pudesse ter mais essa conquista. Aos familiares que torceram por mim, deram-me pouso e me desejaram boa sorte em toda essa etapa.

Ao Corpo de Bombeiros Militar de Santa Maria, agradeço pela oportunidade da troca de conhecimento e por permitir grandes e fundamentais experiências na parte de segurança contra incêndio.



Aos amigos, profissionais da área, que contribuíram com conhecimentos técnicos para o desenvolvimento desta pesquisa. Amigos que proporcionaram também a aproximação com as pessoas que sofreram a tragédia em Santa Maria.

Finalmente, a todas as pessoas que, ao longo do tempo, foram fundamentais para o meu crescimento. Foi um período de grandes transformações, em busca da evolução pessoal.

“Respondi que coragem era tudo o que eu tinha e que estava preparado para dar o meu melhor, independente da proposta que ele tinha a me oferecer” (HILL, 1938). Essa é uma frase do livro Mais Esperto que o Diabo, de Napoleon Hill, que representa as novas fases, a partir dessa etapa tão importante da minha vida.

“É impressionante a força que as coisas parecem ter quando elas precisam acontecer.”

Caetano Veloso



# RESUMO

## **SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE EVACUAÇÃO EM CASA NOTURNA – COMPORTAMENTO DA MULTIDÃO GUIADO POR SINALIZAÇÃO DE EMERGÊNCIA**

AUTOR: Ana Maria Rigão Torres Amoretti  
ORIENTADOR: Rogério Cattelan Antochaves de Lima  
COORIENTADORA: Soraia Raupp Musse

As sinalizações de emergência são elementos fundamentais para garantir a orientação correta das pessoas, em um processo de evacuação, principalmente para locais de grande público. Incêndios com grande número de vítimas fatais ocorridos em casas noturnas, como por exemplo, a Boate Kiss (Brasil) em 2013, com 242 vítimas fatais, a The Station (Estados Unidos da América) em 2003, com 100 vítimas fatais e a República Cromañón (Argentina) em 2004, com 194 vítimas, entre outras, representam a importância de avaliar os sistemas de sinalizações de emergência para esses locais. Por esse motivo, a presente pesquisa teve por objetivo verificar a eficiência das sinalizações de segurança contra incêndio e pânico em rotas de fuga prescritos pela norma brasileira ABNT NBR 13434 (2004 e 2018), comparado a um sistema iluminado de sinais, utilizando como ferramenta as simulações computacionais. Os resultados mostraram que, para ambientes confinados e de baixa luminosidade, os sinais de balizamento apresentaram uma redução de cerca de cento e sessenta e três por cento no tempo total de saída, em relação aos sinais fotoluminescentes operando em sua capacidade máxima. Além disso, a perda total da capacidade luminescente dos sinais convencionais aumentou em cerca de quatrocentos e quinze por cento o tempo médio de evacuação em relação aos sinais de balizamento. Portanto, conclui-se que um sistema de sinalização completamente perceptível pode contribuir representativamente para a redução nos tempos de evacuação em relação aos sinais fotoluminescentes no qual os agentes, mesmo não estando próximos a eles, conseguem perceber e interpretar as informações, contribuindo para o movimento correto da multidão no sentido da rota de fuga.

Palavras-chave: Segurança contra incêndio. Simulação computacional. Sinalização.

# ABSTRACT

## **COMPUTER NIGHT EVACUATION SIMULATION - CROWD BEHAVIOR GUIDED BY EMERGENCY SIGNALING**

*Author: Ana Maria Rigão Torres Amoretti  
Advisor: Rogério Cattelan Antochaves de Lima  
Co-advisor: Soraia Raupp Musse*

*Emergency signs are key elements to ensure correct orientation of people in an evacuation process, especially for large public places. Fires with a high number of fatalities in nightclubs, such as Nightclub Kiss (Brazil) in 2013 with 242 fatalities, The Station (United States of America) in 2003 with 100 fatalities and the Cromañón Republic (Argentina) 2004 with 194 victims, among others, represent the importance of assessing emergency signaling systems for these kinds of locations. For this reason, this research aimed to verify the efficiency of fire and panic safety signals in escape routes prescribed by the Brazilian standard ABNT NBR 13434 (2004 e 2018), compared to an illuminated signal system, using computational simulations as a tool. The signs were numerically inserted into a generic nightclub model in four distinct scenarios, established according to the luminescent factor of each system. The results showed that for confined and low light environments, the beacon signals showed a reduction of approximately one hundred and sixty-three percent in the total output time, in relation to the photoluminescent signals operating at their maximum capacity. In addition, the total loss of luminescent capacity of conventional signals increased the average evacuation time by about four hundred and fifteen percent in relation to the beacon signals. Therefore, it is concluded that a completely perceptible signaling system can contribute significantly to the reduction in evacuation times in relation to photoluminescent signals in which the agents, even when not close to them, are able to perceive and interpret the information, contributing to the movement crowd in the direction of the escape route.*

*Key-words: Fire Safety. Computation Simulation. Signaling.*

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Linha do tempo - Parte 1: de 1929 à 2000.....                               | 25 |
| Figura 2 - Linha do tempo - Parte 2: de 2000 à 2017.....                               | 25 |
| Figura 3 - Sinalizações e a comunicação entre os ambientes.....                        | 33 |
| Figura 4 - Exemplo de sinalização complementar.....                                    | 38 |
| Figura 5 - Sinalização de balizamento.....   | 41 |
| Figura 6 - Área de abrangência da iluminação de emergência. ....                       | 42 |
| Figura 7 - Área de captação de visibilidade da placa. ....                             | 49 |
| Figura 8 - Planta baixa esquemática do teste de evacuação. ....                        | 52 |
| Figura 9 - Sistema de identificação dos sinais nos três níveis. ....                   | 56 |
| Figura 10 - Modelo tridimensional do supermercado. ....                                | 57 |
| Figura 11 - Modelo tridimensional do supermercado - sinalizações.....                  | 58 |
| Figura 12 - Área de visibilidade dos sinais. ....                                      | 59 |
| Figura 13 - Área de visibilidade dos sinais adicionais. ....                           | 61 |
| Figura 14 - Planta do Edifício Queen Anne.....   | 64 |
| Figura 15 - Sinalização de emergência. ....  | 64 |
| Figura 16 - Modelo tridimensional do supermercado. ....                                | 66 |
| Figura 17 - Área de visibilidade dos 16 sinais. ....                                   | 67 |
| Figura 18 - Sinalização de emergência dinâmica.....                                    | 71 |
| Figura 19 - Planta do Edifício Queen Anne. ....  | 71 |
| Figura 20 - Modelo da casa noturna The Station. ....                                   | 74 |
| Figura 21 - Área de visibilidade dos sinais na fumaça. ....                            | 76 |
| Figura 22 - Área total de cobertura dos sete sinais. ....                              | 76 |
| Figura 23 - Percentual de cobertura dos sinais. ....                                   | 77 |
| Figura 24 - Área de cobertura das sinalizações no cenário 3 (tempos de 0s à 86s). .... | 78 |
| Figura 25 - Área de visibilidade em relação ao tempo de simulação. ....                | 79 |
| Figura 26 - Ofuscamento do sinal SLF 12 em relação ao tempo de simulação. ....         | 80 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 27 - Indicação das saídas de emergência no software <i>CrowdSim</i> . .....  | 84  |
| Figura 28 - Representação ampliada das 4 saídas de emergência. ....   | 84  |
| Figura 29 - Comparação do congestionamento ocorrido na simulação real em comparação à simulação computacional. ....                 | 86  |
| Figura 30 – Comparação entre as velocidades de movimento dos agentes.....   | 87  |
| Figura 31 - Comparação entre os tempos e evacuação dos agentes.....   | 87  |
| Figura 32 - Etapas da metodologia.....  | 89  |
| Figura 33 - Identificação dos elementos do modelo de simulação numéricos para as simulações.....                                    | 91  |
| Figura 34 - Descrição dos <i>goals</i> e células de inserção.....   | 91  |
| Figura 35 - Modelo tridimensional em CAD da Boate Santa Mônica. ....  | 93  |
| Figura 36 - Modelo planejado <i>BioCrowds</i> . ....  | 93  |
| Figura 37 - Modelo de evacuação <i>BioCrowds</i> a para casa noturna Santa Mônica... 96   |     |
| Figura 38 - Áreas que antecedem as saídas de emergência.....  | 97  |
| Figura 39 - Acessos verticais de escadas e rampas do modelo. ....   | 98  |
| Figura 40 – Distribuição dos agenes no modelo.....  | 101 |
| Figura 41 - Sinalizações de emergência do estudo. Figura A são os sinais fotoluminescentes. Figura B os sinais de balizamento. .... | 102 |
| Figura 42 - Área de cobertura dos sinais no subsolo.....  | 104 |
| Figura 43 - Área de cobertura dos sinais no térreo.....   | 104 |
| Figura 44 - Área de cobertura dos sinais no segundo pavimento.....  | 104 |
| Figura 45 - Área de abrangência da iluminação de emergência.....  | 106 |
| Figura 46 – Configuração dos elementos da simulação. ....   | 107 |
| Figura 47 - Gráfico do tempo de evacuação em relação ao <i>appeal</i> do sinal. ....  | 113 |
| Figura 48 - Cenário 1 – evacuação em 10 segundos. ....  | 115 |
| Figura 49 - Cenário 1 – evacuação em 30 segundos. ....  | 116 |
| Figura 50 – Cenário 1 - Simulação final 1 e 2.....  | 117 |
| Figura 51 – Cenário 1 - Simulação final 3 e 4.....  | 117 |
| Figura 52 – Cenário 1 - Simulação final 5.....  | 118 |
| Figura 53 - Cenário 2 - evacuação em 10 segundos. ....  | 119 |
| Figura 54 - Cenário 2 – evacuação em 30 segundos. ....  | 119 |
| Figura 55 - Cenário 2 - evacuação em 60 segundos. ....  | 120 |
| Figura 56 - Cenário 2 - evacuação em 120 segundos. ....   | 121 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 57 - Cenário 2 – Simulação final 1 e 2. ....   | 122 |
| Figura 58 - Cenário 2 - Simulação final 3 e 4. ....   | 122 |
| Figura 59 - Cenário 2 - Simulação final 5. ....   | 123 |
| Figura 60 - Cenário 3 - evacuação em 10 segundos.....   | 124 |
| Figura 61 - Cenário 3 - evacuação em 30 segundos.....   | 125 |
| Figura 62 - Cenário 3 - evacuação em 90 segundos.....   | 125 |
| Figura 63 - Cenário 3 - evacuação em 120 segundos.....  | 126 |
| Figura 64 - Cenário 2 - evacuação em 240 segundos.....  | 126 |
| Figura 65 - Cenário 3 – Simulação final 1 e 2. ....   | 127 |
| Figura 66 - Cenário 3 - Simulação final 3 e 4. ....   | 128 |
| Figura 67 - Cenário 3 - Simulação final 5. ....   | 128 |
| Figura 68 - Cenário 4 - evacuação em 10 segundos.....   | 129 |
| Figura 69 - Cenário 4 - evacuação em 30 segundos.....   | 130 |
| Figura 70 - Cenário 4 - evacuação em 60 segundos.....   | 130 |
| Figura 71 - Cenário 4 - evacuação em 90 segundos.....   | 131 |
| Figura 72 - Cenário 4 - evacuação em 120 segundos.....  | 131 |
| Figura 73 - Cenário 4 - evacuação em 240 segundos.....  | 132 |
| Figura 74 - Cenário 4 – Simulação final 1 e 2. ....   | 133 |
| Figura 75 - Cenário 4 - Simulação 3 e 4.....  | 133 |
| Figura 76 - Cenário 4 - Simulação 5.....  | 134 |
| Figura 77 - Relação entre os cenários em 10 segundos de simulação. ....                         | 135 |
| Figura 78 - Relação entre os cenários em 30 segundos de simulação. ....                         | 136 |
| Figura 79 - Relação entre os cenários em 60 segundos de simulação. ....                         | 137 |
| Figura 80 - Relação entre os cenários em 180 segundos de simulação. ....                        | 138 |
| Figura 81 - Relação dos cenários nos tempos finais de simulação.....                            | 139 |
| Figura 82 - Indicação dos sinais nas células do modelo no pavimento subsolo.....                | 161 |
| Figura 83 - Indicação dos sinais nas células do modelo no pavimento térreo.....                 | 163 |
| Figura 84 - Indicação dos sinais nas células do modelo no pavimento superior. ....              | 166 |
| Figura 85 - Tabela 1 da ABNT NBR 13434-1 - Dimensão das placas e distância de visualização..... | 169 |



# LISTA DE TABELAS

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 1 - Sinalização básica de orientação e salvamento. ....  | 38  |
| Tabela 2 – Dimensões das placas de acordo com a distância de visibilidade.....  | 40  |
| Tabela 3 - Fator de luminescência das sinalizações fotoluminescentes.....   | 40  |
| Tabela 4 - Especificação das sinalizações. ....   | 52  |
| Tabela 5 - Condições de evacuação em relação ao número de participantes.....  | 53  |
| Tabela 6 - Número de pessoas evacuadas em relação as rotas de fuga. ....  | 54  |
| Tabela 7 - Percentual das pessoas que perceberam os sinais e aceitaram as informações. ....   | 54  |
| Tabela 8 – Média dos tempos de evauação. ....   | 59  |
| Tabela 9 - Resultados do cenário C.....   | 60  |
| Tabela 10 – Resultados do cenário D.....  | 61  |
| Tabela 11 - Resultados do cenário E.....  | 62  |
| Tabela 12 - Resultados nos pontos de decisão 1 e 2. ....  | 65  |
| Tabela 13 - Resultados dos tempos de evacuação. ....  | 68  |
| Tabela 14- Resultados nos pontos de decisão A12 e A2. ....  | 72  |
| Tabela 15 - Descrição das sinailizações da casa norutna The Station.....  | 75  |
| Tabela 16 - Resultados das simulações para os 4 cenários.....   | 82  |
| Tabela 17 - Tempos de evacuação obtidos no estudo de simulação utilizando o <i>software CrowdSim</i> .....  | 85  |
| Tabela 18 - Dados da simulação computacional e real. ....   | 85  |
| Tabela 19 - Descrição da edificação.....  | 92  |
| Tabela 20 - Relação entre as áreas e a população máxima permitida da casa noturna Santa Mônica em Porto Alegre (RS), Brasil e, do modelo de simulação. .... | 95  |
| Tabela 21 - Largura das saídas de emergência do modelo simulado em relação à edificação.....  | 95  |
| Tabela 22 - Relação das larguras das saídas de emergência da casa noturna Santa Mônica e do modelo de simulação. ....                                       | 97  |
| Tabela 23 - Relação entre as larguras das escadas e rampas.....   | 99  |
| Tabela 24 - Exemplo de inserção das placas. ....  | 103 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 25 - Sinais associados às informações direcionais. ....                  | 103 |
| Tabela 26 - Fatores de luminância estabelecidos. ....                           | 106 |
| Tabela 27 - Valores de <i>appeal</i> para as sinalizações. ....                 | 107 |
| Tabela 28 - Critérios para o cenário 1. ....                                    | 108 |
| Tabela 29 - Critérios para o cenário 2. ....                                    | 109 |
| Tabela 30 - Critérios para o cenário 3. ....                                    | 109 |
| Tabela 31 - Critérios para o cenário 4. ....                                    | 109 |
| Tabela 32 - Tempos de evacuação para os cenários. ....                          | 110 |
| Tabela 33 - Tempos de evacuação em relação ao <i>appeal</i> de cada sinal. .... | 111 |
| Tabela 34 - Comparação entre os tempos de evacuação. ....                       | 112 |
| Tabela 35 - Número de agentes que não saíram do local. ....                     | 122 |
| Tabela 36 - Número de agentes que não saíram do local. ....                     | 127 |
| Tabela 37 - Número de agentes que não saíram do local. ....                     | 134 |
| Tabela 38 - Células correspondentes as sinalizações. ....                       | 162 |
| Tabela 39 - Células correspondentes as sinalizações. ....                       | 164 |
| Tabela 40 - Células correspondentes as sinalizações. ....                       | 165 |
| Tabela 41- Células correspondentes as sinalizações. ....                        | 167 |



# LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|        |   |
|--------|---|
| ABNT   | Associação Brasileira de Normas Técnicas  |
| CAD    | <i>Computer Aided Design</i><br>(Desenho Auxiliado por Computador)                                    |
| CB-24  | Comitê Brasileiro de Segurança Contra Incêndio  |
| CBMRS  | Corpo de Bombeiros Militar do Rio Grande do Sul.  |
| CE-024 | Comissão de Estudo de Sinalização Preventiva de Incêndio  |
| DE     | <i>Decision Engine</i><br>(Mecanismo de Decisão, tradução nossa)                                      |
| USA    | Estados Unidos da América   |
| FDS    | <i>Fire Dynamics Simulator</i>  |
| ISO    | International Organization For Standardization<br>(Organização Internacional De Padronização)         |
| NBR    | Norma Brasileira  |
| NFPA   | <i>National Fire Protection Association</i><br>(Associação Nacional de Proteção contra Incêndios)     |
| NIST   | <i>National Institute of Standards and Technology</i><br>(Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia) |
| PPCI   | Plano de Prevenção e Proteção Contra Incêndio   |
| PUCRS  | Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul   |
| RT     | Resolução Técnica   |
| UFSM   | Universidade Federal de Santa Maria   |
| VCA    | <i>Visibility Catchment Area</i><br>(Área de Captação de Visibilidade)                                |



# SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| Introdução .....  | 19 |
| 1.1. OBJETIVOS .....  | 22 |
| 1.1.1. Objetivo Geral .....   | 23 |
| 1.1.2. Objetivos Específicos .....  | 23 |
| 1.2. JUSTIFICATIVA .....  | 23 |
| 1.3. DELIMITAÇÃO DO TEMA .....  | 27 |
| 1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO .....  | 29 |
| Capítulo 2 .....  | 31 |
| Referencial Teórico .....   | 31 |
| 2.1. SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO .....  | 31 |
| 2.2. SINLIZAÇÃO DE EMERGÊNCIA .....   | 33 |
| 2.3. SINALIZAÇÃO DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO E PÂNICO .....  | 37 |
| 2.3.1. Sinalização Fotoluminescente: ABNT NBR 13434 – Partes 1, 2 e 3 .....   | 37 |
| 2.3.2. Sinalização de Balizamento – ABNT NBR 10898 .....  | 41 |
| Capítulo 3 .....  | 43 |
| Simulação Computacional .....   | 43 |
| 3.1. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA EVACUAÇÃO DE EMERGÊNCIA ..  | 43 |
| 3.2. ESTUDOS RELACIONADOS SOBRE O TEMA .....  | 48 |
| 3.2.1. Estudo 01: Percepção das sinalizações para indivíduos sozinhos e em grupo de Fu <i>et al.</i> (2018) .....                                 | 51 |
| 3.2.2. Estudo 02: Percepção do sistema de sinalização de emergência por meio de simulação computacional por Filippidis <i>et al.</i> (2006) ..... | 56 |
| 3.2.3. Estudo 03: Dados de simulação real implementados em uma simulação computacional por XIE <i>et al.</i> (2012) .....                         | 63 |
| 3.2.4. Estudo 04: Estudo de sinalização dinâmica por Galea, Xie e Lawrence  |    |

|  |     |
|--|-----|
| (2014)   | 69  |
| 3.2.5. Estudo 05: Avaliação do impacto da fumaça na visibilidade dos sinais fotoluminescentes por Xie (2011) | 73  |
| 3.2.6. Estudo 06: Simulação computacional de evacuação em casa noturna por Silva, Scholl e Adamatti (2017)   | 79  |
| 3.2.7. Estudo 07: Simulação real aferidos ao tempo de uma simulação computacional por Cassol (2016)          | 83  |
| Capítulo 4   | 89  |
| Materiais e Métodos  | 89  |
| 4.1. FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO   | 90  |
| 4.2. MODELO DE SIMULAÇÃO   | 92  |
| 4.3. DESCRIÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO  | 94  |
| 4.4. AGENTES DA SIMULAÇÃO  | 100 |
| 4.5. DEFINIÇÃO DAS SINALIZAÇÕES  | 101 |
| 4.6. PROGRAMA EXPERIMENTAL   | 105 |
| 4.6.1. Visibilidade dos Sinais   | 105 |
| 4.7. CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO   | 108 |
| Capítulo 5   | 110 |
| Análise dos Resultados   | 110 |
| 5.1. RESULTADOS EXPERIMENTAIS  | 110 |
| 5.2. RESULTADOS POR CENÁRIO  | 115 |
| 5.2.1. Cenário 1   | 115 |
| 5.2.2. Cenário 2   | 118 |
| 5.2.3. Cenário 3   | 123 |
| 5.2.4. Cenário 4   | 128 |
| 5.2.5. Relação entre os Cenários   | 134 |
| Capítulo 6   | 141 |
| Considerações Finais   | 141 |
| 6.1. ESTUDOS FUTUROS   | 143 |
| Referências  | 145 |
| Apêndice A   | 157 |
| Apêndice B   | 160 |
| Anexo A  | 168 |







# INTRODUÇÃO

A ocorrência de um incêndio pode resultar em diferentes consequências, tais como perda de vidas e do patrimônio (LUZ NETO, 1995; VALENTIN e ONO, 2006; SILVA, 2019). O planejamento de uma edificação deve cumprir uma série de requisitos de segurança, desde dimensionamento correto das unidades de passagem até a verificação quanto à reação e à resistência ao fogo dos elementos que compõem a edificação, bem como sistemas de sinalização, de modo a garantir condições seguras para evacuação rápida dos ocupantes (CARLO, 2008; TAVARES, 2009). A violação dos códigos de segurança contra incêndio, as falhas nas especificações dos materiais de acabamento e revestimento, a colocação incorreta dos elementos de sinalização de emergência, entre outras medidas, são fatores que podem interferir diretamente na proporção e severidade desses eventos (GOUVEIA e ETRUSCO, 2002; CARLO, 2008).

Os planos de segurança contemplam uma série de especificações que visam promover um local com menos riscos aos usuários (VALENTIN e ONO, 2006). Os Planos de Prevenção e Proteção Contra Incêndio (PPCI), que guiam o Corpo de Bombeiros em suas ações fiscalizadoras, são derivados de legislações, decretos, regulamentos e normativas, que diferem entre os Estados brasileiros. Porém, a maioria deles segue as determinações elaboradas pelo Estado de São Paulo, consideradas as mais avançadas do Brasil (TAVAREZ, 2009; RODRIGUES, RODRIGUES e SILVA FILHO, 2017).

Além disso, muitas dessas determinações foram embasadas por tragédias decorrentes do passado, como por exemplo, os incêndios ocorridos em São Paulo na década de 70, do edifício Andraus em 1972, com a morte de 16 pessoas e 336 feridos, e do edifício Joelma em 1975, com 179 mortos e 320 feridos (NEGRISOLO, 2011; CREA, 2013; CARLO, 2008). Esses dois eventos foram determinantes para promover a adequação e cumprimento das legislações de incêndio no Brasil, bem como melhorar a qualidade dos projetos de edificações nesse quesito (NEGRISOLO, 2011).

A partir de 2013, os planos de segurança tornaram-se ainda mais rigorosos, não só no Rio Grande do Sul, mas em todo o território nacional, com o incêndio ocorrido na casa noturna Boate Kiss, em Santa Maria. Segundo Gragnani *et al.* (2017), o incêndio foi classificado como uma das maiores tragédias do Brasil nos últimos 50 anos, resultando na morte de 242 pessoas, além de centenas de feridos. Com repercussão mundial, despertou-se a necessidade de atualização das medidas de segurança, a fim de torná-las mais eficazes no Brasil (RODRIGUES, 2016).

Também, casos similares ocorreram nos Estados Unidos, como o incêndio da casa noturna The Station em 2003 e, na Argentina, na casa noturna República de Cromañón em 2004 (GROSSHANDLER *et al.*, 2005; PODER JUDICIAL DE LA NACIÓN, 2009). Esses acidentes representaram não só as consequências causadas pelas violações dos códigos de segurança, mas também promoveram suas reformulações, uma vez que as normas vigentes à época, não eram adequadas para a evacuação dos ocupantes (KOBES, 2010a).

As casas noturnas são classificadas como local de reunião de público, conforme estabelecido na ABNT NBR 9077 (ABNT, 2001) e pela Lei Complementar Nº 14.924 de 22 de dezembro de 2016 (ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2016). Para Machado e Anderson (2011), a segurança contra incêndio para esses locais deve ser estudada de forma diferenciada, devido às características do ambiente e ao perfil dos ocupantes, que muitas vezes não são familiarizados com o local.

As casas noturnas caracterizam-se por serem ambientes muitas vezes fechados, com baixa luminosidade, pouca ou nenhuma ventilação natural, espaços internos compartimentados quase como labirintos, música alta, podendo ocorrer, em determinados momentos, a propagação de fumaça de gelo seco. O público, em sua maioria, é composto por jovens, expostos ou não ao uso de bebidas alcoólicas entre outras substâncias que, conforme a intensidade de uso, podem interferir completamente no estado de alerta desses usuários (KOBES *et al.*, 2010a; MACHADO e ANDERSON, 2011). A combinação desses fatores pode comprometer a percepção de ações ocorridas no ambiente como um todo, principalmente em caso de incêndio.

Em vista da segurança contra incêndio para esses locais, a sinalização de emergência torna-se um elemento primordial no processo de evacuação, guiando os indivíduos até a saída de emergência mais próxima (SILVA, 2019). O percurso de

evacuação pode envolver vários pontos de decisão e a sinalização contribui para identificar o caminho mais apropriado, podendo atuar de maneira fundamental na vida das pessoas (XIE *et al.*, 2012; D'AGOSTINI, 2017). É necessário, também, que as saídas de emergência estejam dimensionadas de forma adequada, para que em conjunto, favoreçam a orientação, desocupação e acesso rápido dos bombeiros em caso de sinistro (ABNT, 2004a; ABNT, 2001).

A elaboração correta dos planos de abandono pode auxiliar na redução do tempo de evacuação, preservando a vida dos ocupantes. Porém, as rotas de fuga, estabelecidas por meio de normas, nem sempre indicam o caminho mais seguro ou consideram a probabilidade de rotas alternativas, em caso de aglomeração, tornando-se relevantes os exercícios de evacuação (XIE *et al.*, 2012; ROZO *et al.*, 2019). No entanto, as simulações de evacuação em locais de grande público são complexas e estão propensas a restrições temporais, físicas e comportamentais, tornando-se, muitas vezes, onerosas aos proprietários e, conseqüentemente, difíceis de serem realizadas (COSTA e PINHEIRO, 2018).

Ao visar compreender melhor as ações de comportamento de multidões, as simulações computacionais podem ser uma ferramenta importante para análise de planos de evacuação em caso de incêndio, pois o que se pretende é diminuir o tempo estimado de saída através da representação de diferentes cenários e aumentar a segurança das pessoas em ambientes lotados, sem colocar em risco os participantes (KINATEDER *et al.*, 2014; ZHANG *et al.*, 2012; COSTA e PINHEIRO, 2018). As simulações também contribuem para atestar problemas de projeto, até mesmo antes da sua construção, melhorando o layout, principalmente de ambientes complexos (ZHANG *et al.*, 2012).

As simulações de multidão consideram um conjunto de parâmetros como as características físicas e funcionais do ambiente, além dos dados da população, de modo a melhorar os aspectos de segurança e conforto do local (CASSOL, OLIVEIRA e MUSSE, 2016). É possível, assim, estabelecer planos de segurança mais eficientes, de acordo com as especificidades de cada local, ambiente ou evento.

Dessa maneira, a presente pesquisa pretende avaliar a efetividade das normas brasileiras de sinalização de emergência em rotas de fuga, ABNT NBR 13.434-1:2004, ABNT NBR 13.434-2:2004 e ABNT NBR 13.434-3 (ABNT, 2004a, 2004b, 2018), por meio da simulação computacional, em um local de reunião de público. Para isso, foi

adotado como base um modelo de casa noturna previamente estudado por Cassol (2016), no qual foi possível aferir os tempos de evacuação obtidos em simulações computacionais, a partir de exercícios de evacuação em uma situação real.

Primeiramente para a realização destas simulações, foram realizados primeiramente os levantamentos bibliográficos referentes ao tema, a fim de adquirir dados sobre simulações computacionais e reais, percepção dos sistemas de sinalização, *softwares* de evacuação, que pudessem contribuir para o desenvolvimento, justificativa e comparação de resultados do presente estudo. Além disso, uma revisão documental das normativas referentes os sistemas de sinalizações implantados no Brasil, bem como das regulamentações de uso prescritas pelos órgãos fiscalizadores no Estado do Rio Grande do Sul.

Com base nos levantamentos abordados, foi possível elaborar e definir os materiais e métodos adotados no estudo. Na presente pesquisa, serão acrescentados a esse modelo aferido por Cassol (2016), elementos de sinalização de emergência, como condicionantes de orientação da população durante o processo de evacuação. A ferramenta utilizada para as simulações será o *software BioCrowd* (BICHO, 2009; BICHO *et al.*, 2012) desenvolvido pelo Laboratório de Simulação de Humanos Virtuais, da Pontifícia Universidade Católica Do Rio Grande do Sul – PUCRS/ Brasil. O *software* permite criar situações similares à realidade de ambientes lotados, como por exemplo a disputa pelo lugar de passagem, e também a inserção de elementos de orientação para a simulação de evacuação (MATHEW *et al.*, 2019). Por fim, foram gerados os cenários considerando os diferentes sistemas de sinalizações de emergência adotados no Brasil, para posterior análise e conclusão dos resultados.

## 1.1. OBJETIVOS

A seguir serão apresentados o objetivo geral e os específicos da presente pesquisa.

### 1.1.1. Objetivo Geral

O presente trabalho tem por objetivo utilizar uma ferramenta de simulação computacional para verificar a eficiência das sinalizações de emergência, na orientação de agentes em um processo de evacuação em uma casa noturna.

### 1.1.2. Objetivos específicos

- Validar a eficácia dos sistemas de sinalização de emergência, avaliados por meio das simulações computacionais, se comparado a um exercício de evacuação real, em termos de tempos de evacuação.
- Verificar a eficiência de sinalização de balizamento prescrita na ABNT NBR 10898 (ABNT, 2013).
- Verificar a eficiência de sinalização fotoluminescente prescrita na ABNT NBR 13434-3 (ABNT, 2018).
- Validar a possibilidade de simular o comportamento humano em evacuação de emergência, considerando os diferentes sistemas de sinalização, por meio de modelagem de evacuação de multidões.

## 1.2. JUSTIFICATIVA

[...] A fumaça nunca foi tão negra no Rio Grande do Sul. Nunca uma nuvem foi tão nefasta. A fumaça corrompeu o céu para sempre. [...] Morri porque já confundi a porta do banheiro com a de emergência. [...] As famílias ainda procuram suas crianças. [...] As palavras perderam o sentido. (SILVEIRA, 2014, P. 11).

Após o incêndio da casa noturna Boate Kiss em 2013, novas medidas de segurança foram tomadas em relação à segurança contra incêndio no Rio Grande do Sul. A primeira delas foi a elaboração e promulgação de uma legislação estadual, a Lei Complementar n.º 14.376, de 26 de Dezembro de 2013, atualizada e revisada pela

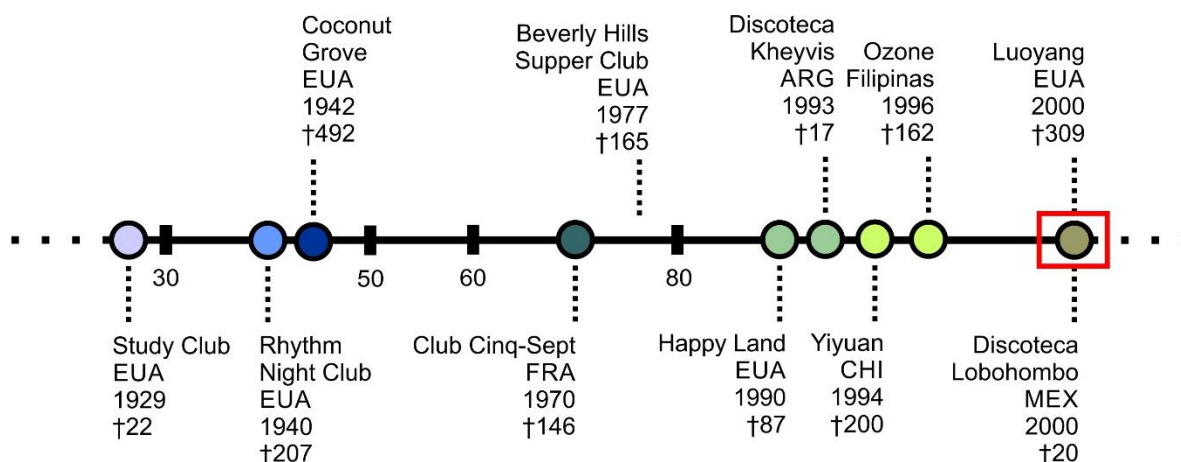
Lei Complementar n.º 14.924, de 22 de setembro de 2016 (ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2016), que estabelece diretrizes gerais sobre medidas de prevenção e combate a incêndio e a desastres em estabelecimentos, edificações e áreas de reunião de público, seguida por uma legislação federal, a Lei de Nº 13.425, de 30 de Março de 2017, com a mesma finalidade (BRASIL, 2017). Ambas determinam o cumprimento das medidas de segurança contra incêndio pelos estabelecimentos, com objetivo de evitar o surgimento, alastramento e extinção de um sinistro, principalmente para áreas de reunião de público, sendo essas fiscalizadas e aprovadas pelo Corpo de Bombeiros.

Após esse incêndio, alguns estados brasileiros atualizaram seus regulamentos, apenas nos itens em que houve falhas, como a especificação correta das saídas de emergência e o treinamento de segurança das pessoas do local (RODRIGUES, RODRIGUES e SILVA FILHO, 2017). Esses regulamentos, decretos, normas, instruções técnicas, que orientam os bombeiros na liberação dos alvarás, geralmente possuem suas prescrições com base nas orientações da normativa nacional da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) como por exemplo a NBR 13434 (ABNT, 2004a, 2004b).

No entanto, algumas dessas determinações podem conter orientações que, eventualmente, não são suficientes em determinadas situações de incêndio. Em um sinistro, onde ocorra a propagação da fumaça, por exemplo, os elementos de sinalização de segurança contra incêndio e pânico, considerados elementos de orientação e salvamento, tornam-se imperceptíveis (KOBES *et al.*, 2010a). Outro exemplo são os locais de grande público, onde a aglomeração de pessoas exige medidas mais efetivas para a segurança dos usuários (RODRIGUES, 2016). Segundo o Relatório Final da Polícia Militar (ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2013), no acidente da casa noturna Boate Kiss, a falta de indicação e sinalização da rota de saída, impediu a evacuação adequada dos ocupantes.

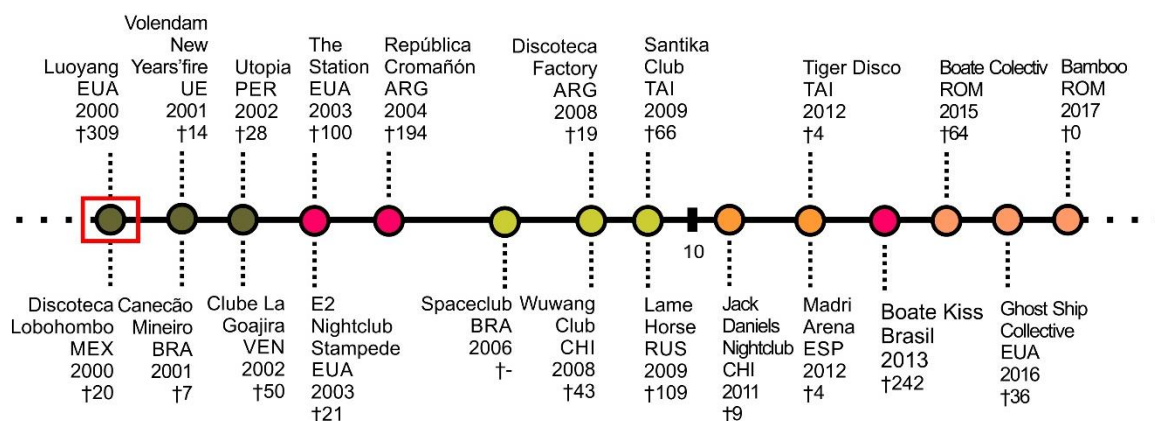
Segundo Teixeira (2013), assim como no Brasil, desde a década de 20, fatos similares de incêndios em casas noturnas ocorreram em outros países (Figura 1). Conforme Queiroz (2018), a partir do ano 2000, ocorreu, praticamente, um incêndio por ano em casas noturnas (Figura 2).

Figura 1 - Linha do tempo - Parte 1: de 1929 à 2000.



Fonte: Adaptado Teixeira (2013).

Figura 2 - Linha do tempo - Parte 2: de 2000 à 2017.



Fonte: Adaptado de Queiroz (2018).

Dentre os fatos registrados, destaca-se o incêndio na casa noturna The Station, na cidade de West Warwick em Rhode Island (EUA), ocorrido no dia 20 de fevereiro de 2003, que causou a morte de 100 pessoas e e feriu outras tantas. O incêndio foi ocasionado pelo uso de um artefato pirotécnico que atingiu a espuma de poliuretano que revestia as paredes como isolamento acústico, espalhando uma fumaça que obstruiu a visibilidade das saídas de emergência. Apesar do prédio ter quatro saídas de emergência, a maioria da população utilizou o acesso principal como rota de fuga,



causando um congestionamento grande de pessoas (GROSSHANDLER *et al.*, 2005; XIE, 2011).

Conforme descrito por Grosshandler *et al.* (2005), o cumprimento das medidas de segurança, em vigor naquele ano, teriam contribuído na redução da proporção dessa tragédia. Porém, as falhas no sistema de sinalização não permitiram que os indivíduos percebessem as placas, impedindo-os de utilizarem as saídas de emergências apropriadas (GALEA *et al.*, 2017). A partir desse fato, novas recomendações para alteração dos modelos e códigos de segurança foram estabelecidos, tais como o uso de sprinklers automáticos, restrições de uso de alguns materiais de acabamento e revestimento e o aumento dos fatores de segurança no tempo de evacuação, como iluminação e sinalização de emergência (GROSSHANDLER *et al.*, 2005).

Da mesma forma, o incêndio na casa noturna República Cromañón na cidade de Buenos Aires, na Argentina, em 2004, serviu de palco para outra tragédia. Um artefato pirotécnico atingiu o revestimento do teto, queimou-o rapidamente, o que gerou uma fumaça espessa e tóxica, causando a morte de 194 pessoas e deixando 1.524 pessoas feridas.

Além disso, outras inconformidades contribuíram para a perda de vidas, dentre elas, o fato de que a maioria dos acessos estavam bloqueados. As saídas de emergência, identificadas com uma placa luminosa, foram abertas uma hora após o incêndio começar. A falta de iluminação e sinalização adequadas contribuíram para o enclausuramento das pessoas, as quais guiavam-se apenas por instinto, dificultando a saída (PODER JUDICIAL DE LA NACIÓN, 2009).

Em ambos os casos, a capacidade acima do permitido, bem como a inconformidade das saídas de emergência e a deficiência das sinalizações, foram os principais fatores que contribuíram para a perda das vidas. Deste modo, enfatiza-se a necessidade de revisão de medidas de segurança, como por exemplo, a adequação das sinalizações de emergência para ambientes noturnos e de grande público.

### 1.3. DELIMITAÇÃO DO TEMA

Em um estudo de simulação computacional de evacuação, em caso de incêndio, faz-se necessário considerar um conjunto de fatores que possa tornar os resultados o mais próximos da vida real, tais como o tipo de população e a ocupação do imóvel, pois são esses que irão definir as condições de contorno em caso de emergência (HAGHANI; SARVI, 2018). Em um modelo de casa noturna, em específico, fatores como a fumaça e sua densidade, bem como a ingestão de bebidas alcoólicas por parte dos usuários, podem interferir nos resultados dos tempos de evacuação.

A fumaça é uma mistura de diversos gases tóxicos oriundos da queima dos diferentes materiais de acabamento e revestimento (MITIDIERI, 2008), dentre eles, o gás carbônico que reduz rapidamente a quantidade de oxigênio no ambiente, bem como o cianeto, que pode levar ao óbito, pela inalação, ao entrar em contato com a corrente sanguínea (SOUZA *et al.*, 2004; BASSI *et al.*, 2014; PASQUALOTO *et al.*, 2015). Além do desconforto fisiológico e psicológico, a fumaça reduz consideravelmente a visibilidade do ambiente, podendo interferir diretamente na velocidade da evacuação, conforme sua densidade (JIN, 1997). As partículas da fumaça aderem às superfícies das paredes e dos sinais de orientação, espalham a luz dos objetos e se confundem com a iluminação do ambiente, dificultando a percepção das informações, devido à redução do fator luminescente (JIN, 1997; XIE, 2011; XIE *et al.*, 2012).

Para Kinateder *et al.* (2014), em ambiente de realidade virtual, a fumaça é simulada e calculada numericamente, apresentando-se assim da mesma maneira para vários participantes. Porém, na vida real, ela possui inúmeras condições de variabilidade, que limitam a confiabilidade dos dados. Rea, Ouellette e Clark (2010), apontam que vários estudos foram feitos sobre a visibilidade dos sinais de emergência com a presença de fumaça, porém os mesmos são limitados e não contemplam adequadamente suas propriedades, tornando os resultados imprecisos.

Atualmente, existe uma grande quantidade de materiais de acabamento e revestimento. Essa variabilidade gera condições e parâmetros aleatórios que prejudicam a reprodução das chamas e a propagação da fumaça, bem como as características exatas de toxicidades dos elementos combustíveis, tornando-se

imprecisos na hora de modelar o seu comportamento, bem como quantificar a concentração de cada elemento (GALEA *et al.*, 2008).

Conforme Xie (2011), os agentes expostos à fumaça podem ter diferentes padrões de comportamentos, tornando necessário programas específicos para possibilitar tais configurações e representação dessas interações. Em consequência, os sintomas causados nos indivíduos também variam conforme o tempo de exposição a cada um deles. Para isso, deveriam ser considerados, além de cada indivíduo, os fatores fisiológico, a fim de se obter resultados concretos das suas consequências (JIN, 1997).

Outro fator importante, é o consumo de bebidas alcoólicas por parte dos usuários, pois o álcool afeta o corpo e a mente dos indivíduos, dificultando as funções motoras e prejudicando a realização de tarefas em segurança. Porém, a mesma concentração alcoólica pode acarretar efeitos diversos em indivíduos diferentes, uma vez que os valores de alcoolemia derivam de uma série de condicionantes, como o tipo de bebida, a quantidade ingerida, a massa corporal, o metabolismo, entre outros, que não correspondem a um valor padrão (DUBOWSKI, 1977; FRANA, 2017).

Sendo assim, os efeitos causados pela ingestão de bebidas alcoólicas e os efeitos da fumaça não foram considerados nesta pesquisa pelos motivos supracitados, visto que os mesmos poderiam levar a imprecisão de valores cientificamente comprováveis.

Além dos fatores fisiológicos e psicológicos, as características como gênero, idade, altura, problemas de visão, entre outros, também podem influenciar no comportamento geral da multidão em caso de evacuação. Embora uma população seja composta por agentes heterogêneos, modelar o comportamento de cada indivíduo é uma tarefa complexa (CASSOL, 2016). No entanto, seria necessário definir o quão relevantes são essas características, nas diferentes situações de incêndio em locais de grande público como estádios, hospitais, shoppings, casas noturnas, entre outros, que irão influenciar na escolha da amostra. Deste modo, estabelecer características de forma aleatória para cada agente, tornaria os resultados imprecisos do ponto de vista científico.

Para um estudo de evacuação de incêndio, alguns autores como Gouveia e Etrusco (2002), Kobes *et al.* (2010a, 2010b) e Sime (2001) consideram o tempo de pré-movimento, como uma das etapas mais importantes no processo de evacuação.

Esse processo envolve diferentes fatores, como por exemplo, a detecção do alarme de incêndio, a interpretação e ação de evacuação (GOUVEIA e ETRUSCO, 2002). No entanto, para locais como as casas noturnas, o tempo de pré-movimento pode ser influenciados por outros fatores, dentre eles, as condições fisiológicas e psicológicas devido ao consumo de bebidas alcoólicas, ou outras substâncias químicas, por parte das pessoas. Como exposto nos parágrafos anteriores, a influência da ingestão dessas substâncias afeta a capacidade de resposta sensorial e aumenta o tempo de reação e percepção das pessoas (DUBOWSKI, 1977; FRANA, 2017).

Portanto, estabelecer o tempo de pré-movimento para essa situação seria novamente aleatório. Segundo Gouveia e Etrusco (2002), o tempo de pré-movimento deve ser aplicado após uma análise minuciosa de um perfil de evacuação de uma determinada população. Esse fator geralmente não é considerado em simulações de multidões, as quais são baseadas na otimização computacional, onde o movimento de interação é em massa (BICHO, 2009). Deste modo, as características individuais de cada agente, como tempo de reação, destreza física, entre outros, não são considerados. Autores como Xie *et al.* (2012), Filippidis *et al.* (2006), Galea *et al.* (2014) e Martins, Rodrigues e Braga (2019), também desconsideram esse tempo, determinando que o movimento de evacuação da multidão inicie imediatamente após iniciar o *software*.

Em relação ao *software* utilizado na presente pesquisa, faz-se necessário apontar algumas colocações em relação a implementação dos sinais no modelo. O modelo é composto por grades bidimensionais numéricas, desta forma, não serão consideradas as diferentes alturas de instalação e as diferentes dimensões dos sinais. A forma como os mesmos serão implementados no modelo, serão descritos no Capítulo 4.

#### **1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO**

O Capítulo 1 contempla informações gerais do tema a ser tratado. Aborda-se, na introdução, uma breve contextualização sobre o assunto, além da justificativa, delimitação e objetivos a serem alcançados na pesquisa.

No capítulo 2, apresenta-se uma breve conceituação sobre segurança contra incêndio e a importância das sinalizações de emergência. Além disso, apresenta uma pesquisa documental das determinações normativas utilizadas nas simulações.

O capítulo 3 apresenta o referencial teórico sobre simulação computacional, com os estudos relacionados ao tema. Essa etapa contempla estudos sobre a interação do comportamento humano e a sinalização de emergência, no processo de evacuação.

Já o capítulo 4 descreve os materiais e métodos da pesquisa. Essa etapa contempla as definições do modelo de estudo, das sinalizações utilizadas, a descrição dos cenários, o programa experimental e os cenários elaborados para as simulações.

O Capítulo 5 apresenta os resultados das simulações, bem como a discussão dos mesmos.

Por fim, o Capítulo 6 contém as considerações finais da pesquisa e sugestões para estudos futuros.

## Capítulo 2

# REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, serão apresentadas breves contextualizações sobre sinalização e sua importância no processo de evacuação para casos de incêndio. Uma pesquisa documental foi realizada de modo a compreender a aplicação da norma brasileira ABNT NBR 13434 (ABNT, 2004a, 2004b, 2018) e da ABNT NBR 10898 (2013), agregadas às determinações exigidas pelo Corpo de Bombeiros, a fim de reunir dados sobre os condicionantes que serão inseridos no modelo final.

### 2.1. SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO

Em uma definição básica, o incêndio se caracteriza por ser um “fogo fora de controle” (ABNT, 1997). Pela normativa internacional, o incêndio é um processo de combustão, emitindo calor e fumaça, espalhando-se de forma descontrolada no tempo e espaço (ISO, 1987).

Um incêndio pode provocar calor, devido ao aumento da temperatura, presença de fumaça e gases tóxicos, além da chama em si (VALENTIN e ONO, 2006). A velocidade com que o sinistro se desenvolve depende dos parâmetros de velocidade de propagação das chamas e é influenciado pelo tipo e quantidade de materiais combustíveis, volume e densidade da fumaça (GOUVEIA e ETRUSCO, 2002).

Esses fatores podem causar riscos eminentes aos ocupantes, principalmente em espaços lotados, onde a velocidade de alastramento do incêndio é, geralmente, maior que a velocidade de caminhada de uma multidão. Em caso de evacuação, pode influenciar a visualização dos elementos de orientação, que auxiliam na direção correta da saída de emergência, promovendo situações de pânico (ONO, 2007; CUNHA e MARTINELLI Jr., 2008; HENNEMANN *et al.*, 2018). Por isso, em termos de

segurança contra incêndio, é fundamental considerar as medidas de proteção no projeto arquitetônico das edificações, pois estas interferem diretamente na preservação da vida e do patrimônio (ONO, 2007; GILL e LEAL, 2008).

As medidas de proteção podem ser tanto ativas quanto passivas. Medidas ativas são geralmente determinadas pelas instalações prediais ainda na construção, que são acionadas de forma manual ou automática durante um sinistro. Como exemplo, tem-se os detectores de fumaça, os alarmes, os chuveiros automáticos, os extintores de incêndio e os hidrantes. As medidas passivas são aquelas incorporadas a edificação, mantendo suas características iniciais, tais como o controle dos materiais de acabamento e revestimento e as sinalizações de emergência (ONO, 2007).

Além disso, um dos aspectos mais importantes da segurança de uma edificação é a possibilidade de uma evacuação segura dos ocupantes. Porém, as medidas sugeridas pelas normas vigentes parecem nem sempre fornecer o suporte adequado aos usuários durante a evacuação (KOBES *et al.*, 2010a).

Com o avanço da tecnologia, novas medidas de segurança podem ser testadas, a fim de contribuir com soluções relacionadas à segurança dos usuários em edificações. Dentre elas, a elaboração de planos de evacuação por meio de programas de realidade virtual, principalmente para locais de reunião de público, tem sido uma das alternativas mais viáveis (VALENTIN e ONO, 2006). Contudo, para que o processo de evacuação ocorra de forma eficiente, além do cumprimento dessas medidas, é necessário também o conhecimento do comportamento humano em uma situação de incêndio.

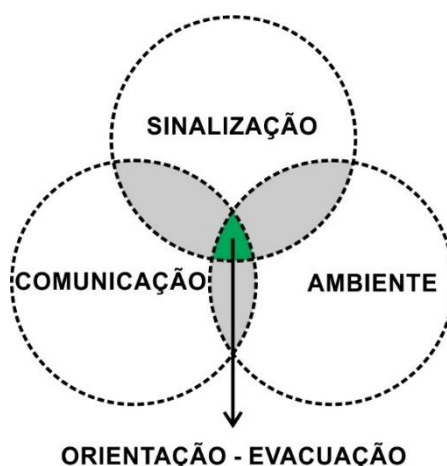
Para isso, em uma evacuação de emergência, torna-se importante avaliar a tomada de decisões dos indivíduos durante o deslocamento de um determinado ponto de origem até o destino final (D'AGOSTINI, 2017), ou seja, um processo dinâmico, denominado *wayfinding*, no qual os indivíduos localizados em um ambiente não familiar, buscam um local seguro, uma rota de fuga ou uma saída para fora da edificação (XIE, 2011; XIE *et al.*, 2012). O percurso da rota de fuga pode envolver vários pontos de decisões, porém a escolha do caminho mais curto nem sempre é o mais apropriado, principalmente em ambientes muito complexos. No entanto, a escolha da melhor rota é preponderantemente importante, pois reduz o tempo de evacuação em caso de emergência (FILIPPIDIS *et al.*, 2006; GALEA *et al.*, 2017).

Sendo assim, as sinalizações de emergência têm um papel fundamental para a orientação das pessoas, pois além de transmitirem informações de um determinado espaço, contribuem para que os usuários tomem as decisões (D'AGOSTINI, 2017).

## 2.2. SINLIZAÇÃO DE EMERGÊNCIA

As sinalizações de emergência visam reduzir a complexidade da edificação, transmitindo informações direcionais e contribuindo para a tomada de decisão em caso de evacuação (XIE *et al.*, 2012; GALEA *et al.*, 2017; FU *et al.*, 2018; SILVA, 2019). As sinalizações são um meio de comunicação entre o local e os usuários (Figura 3), contribuindo principalmente na orientação das pessoas que não conhecem o lugar (D'AGOSTINI, 2017). O processo pelo qual o deslocamento humano é feito através das informações visuais é denominado *locomoção visualmente guiada* (RONCHI *et al.*, 2019).

Figura 3 - Sinalizações e a comunicação entre os ambientes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Contudo, as sinalizações são colocadas, geralmente, quando o local ainda está vazio, sem as mobílias e acessórios, os quais podem fazer com que a mesma se torne menos eficaz ou, até mesmo, invisível durante a ocupação. Para uma sinalização de emergência, são considerados alguns fatores como o tamanho do sinal, o desenho do



sistema em si, a quantidade de informações e o local de instalação (FILIPPIDIS *et al.*, 2006).

A interação do usuário com os sinais pode ser influenciada por fatores físicos (barreiras, organização do espaço), cognitivos (interpretação) e psicológicos (desejo de seguir as informações), e isso determinará a eficácia da percepção dos mesmos. Dentre eles, destaca-se a capacidade de atenção do indivíduo e a visibilidade do sinal no ambiente, para que o usuário possa detectar, compreender e interpretar a informação de forma correta (FILIPPIDIS *et al.*, 2006; XIE, 2011; XIE *et al.*, 2012). Entretanto, geralmente os códigos e normas dão ênfase ao desenho, seleção, posição e manutenção das sinalizações, em detrimento da detecção e interpretação pelos ocupantes durante uma evacuação (XIE, 2011).

A percepção das informações transmitidas pelas sinalizações podem ocorrer com os usuários parados ou em movimento, afastados ou próximos da mesma, em ambiente com alta ou baixa luminosidade (D'AGOSTINI, 2017), de modo que a eficiência de um sistema de sinalização depende do nível de percepção alcançado pelo usuário. Portanto, as informações transmitidas devem ser claras e os sinais devem estar posicionados de forma visível, para que os ocupantes possam fazer uma leitura rápida e correta em uma situação de emergência (XIE, 2011).

Locais de grande público como supermercados, complexos de compras, restaurantes, hospitais, casas noturnas, são exemplos de onde a quantidade de informações podem acabar influenciando na detecção e interpretação das sinalizações, sugerindo situações adicionais de modo a interferir na escolha da rota, como por exemplo, seguir outras pessoas (SIME, 2001; FILIPPIDIS *et al.*, 2006; XIE *et al.*, 2012). Por isso, a quantidade de sinais e a capacidade de visibilidade dos mesmos irão influenciar diretamente na percepção das pessoas, quando as mesmas precisam ser capazes de se localizarem nos espaços, a fim de encontrarem as saídas mais adequadas (SIME, 2001; ZHANG, JIA e QIN, 2017).

Para que os sinais sejam percebidos, é necessário que os mesmos estejam no campo de visão do ocupante, de modo que o usuário possa perceber o signo (desenho ou escrito), interpretar a informação, tomar a decisão e agir (XIE, 2011). A sinalização de emergência pode e deve influenciar na tomada de decisão para escolha da rota de fuga, contudo depende novamente, da capacidade de visibilidade da mesma (OLANDER *et al.*, 2017). A identificação da sinalização faz com que os usuários

saibam quais ações devem ser tomadas durante a evacuação, contudo se a mesma não for aplicada de forma clara, pode causar sensação de pânico entre os ocupantes (ARAUJO, 2008).

Porém, as rotas indicadas por normas são específicas e, muitas vezes, não consideram a possibilidade de rotas alternativas em caso de aglomeração. (XIE *et al.*, 2012; ROZO *et al.*, 2019). Muitas vezes o caminho a ser percorrido durante a evacuação, é determinado pelo conhecimento prévio do lugar, no qual os indivíduos apresentam a tendência de retornarem pelas mesmas rotas que entraram, negligenciando os sinais de orientação (SIME, 2001; KOBES *et al.*, 2010). Quando em grupo, as pessoas que possuem o conhecimento do local servem de líderes ou guia para outras, o que ocorre em situação de multidão, fenômeno chamado “pastoreio” (RICHARDSON, JALBA e MUNTEAN, 2018; Fu *et al.*, 2018).

Pesquisas sobre simulações de evacuação (FILIPPIDIS *et al.*, 2006; XIE *et al.*, 2012; GALEA *et al.*, 2017; FU *et al.*, 2018), identificaram que alguns indivíduos mesmo familiarizados com o local, retornam muitas vezes pela mesma rota de acesso, ignorando as sinalizações de emergência (KOBES, *et al.*, 2010b). Deste modo, a eficácia do sistema de sinalização é uma questão relevante quanto à interação dos usuários, que deve ser percebida em qualquer situação, garantindo uma evacuação segura, principalmente dos usuários que não possuem conhecimento prévio do lugar (XIE *et al.*, 2011).

Por fim, para que os usuários sejam conduzidos pela rota correta, é necessário que os sinais de emergência estejam em conformidade, de modo geral, com os critérios de instalação estabelecidos por normas e códigos, nacionais ou internacionais (XIE *et al.*, 2011). Porém, essas regulamentações nem sempre apresentam uma situação eficaz às sinalizações de emergência, sendo esse o tema de muitas pesquisas científicas (FU *et al.*, 2018).

No Brasil, as exigências das legislações e regulamentos, referente aos requisitos obrigatórios de segurança contra incêndio para as edificações, diferem entre os Estados brasileiros que levam, muitas vezes, a cumprir com as prescrições sugeridas pelas normas técnicas de projeto, como por exemplo, as da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (ROGRIGUES, RODRIGUES e SILVA FILHO, 2017). No Rio Grande do Sul, os projetos de segurança contra incêndio (PPCI) devem

seguir as determinações prescritas nas Regulamentações Técnicas do Corpo de Bombeiros Militar, dentre elas:

- RT Nº 5 – Parte 1.1: estabelece as diretrizes do Plano de Prevenção e Proteção contra Incêndio na Forma Completa (ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2016a).
- RT Nº 5 – Parte 02: Certificado de Licenciamento do Corpo de Bombeiros - CLCB (ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2016b).
- RT Nº 11 – Parte 01: Saídas de Emergência (ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2016c).
- Resolução Técnica de Transição – RTT CBMRS (ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2017).

Porém, as casas noturnas possuem exigências específicas quanto aos sistemas de sinalização de emergência, por serem, muitas vezes, ambientes como baixa luminosidade. Conforme a classificação da ABNT NBR 9077 (ABNT, 2001), as mesmas enquadram-se na divisão F-6, referente aos locais de reunião de público, conforme o uso e a ocupação.

Para essa divisão, os requisitos quanto à instalação do sistema de sinalização devem cumprir as determinações estabelecidas na Resolução Técnica de Transição - RTT (ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2017), que estabelece para a divisão F-6, os sinais de balizamento, ou seja, os sinais iluminados ligados permanentemente durante todo o evento. As demais exigências estão descritas na RT Nº 5 – Partes 1.1 e 02 (ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2016a, 2016b). Essas, por sua vez, fazem referências às exigências das normas da ABNT NBR 13434 (ABNT, 2004a, 2004b, 2018) e ABNT NBR 10898 (ABNT, 2013). Portanto, para que não haja dúvida quanto à importância de instalação de um sistema de sinalização adequado para os locais classificados na divisão F-6, faz-se necessária a avaliação dos dois sistemas de sinais, fotoluminescentes e de balizamento, em vista a garantir a segurança dos usuários durante todo o evento.

## **2.3. SINALIZAÇÃO DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO E PÂNICO**

### **2.3.1. Sinalização Fotoluminescente: ABNT NBR 13434 – Partes 1, 2 e 3**

A Norma Brasileira de Sinalização de Segurança Contra Incêndio e Pânico foi elaborada pelo Foro Nacional de Normatização, no Comitê Brasileiro de Segurança Contra Incêndio (ABNT/CB – 24), descrita pela Comissão de Estudo de Sinalização Preventiva de Incêndio (CE-024:101.004), com a finalidade de estabelecer regras e diretrizes do referido assunto. As normas entraram em vigor na década de 90 com suas primeiras versões: ABNT NBR 13435:1995 sobre Sinalização de segurança contra incêndio e pânico – Procedimento; ABNT NBR 13437:1995 Símbolos gráficos para sinalização contra incêndio e pânico – Simbologia e ABNT NBR 13434:1995 referente a Sinalização de segurança contra incêndio e pânico - Formas, dimensões e cores – Padronização. Em sequência, foram substituídas e canceladas pelas versões atuais: ABNT NBR 13434-1 (ABNT, 2004a) que corresponde aos Princípios de projeto; a ABNT NBR 13434-2 (ABNT, 2004b) referente aos Símbolos e suas formas, dimensões e cores; e a ABNT NBR 13434-3 (ABNT, 2018) que corresponde aos Requisitos e método de ensaio, em vigor até o presente momento.

Essas regras e diretrizes servem como referência às regulamentações e instruções técnicas de vários estados brasileiros, sendo utilizadas pelo Corpo de Bombeiros Militar na fiscalização das edificações (RODRIGUES, 2016). As sinalizações podem ser de alerta, básica, complementar, de equipamentos, de proibição e de orientação e salvamento. Nesta pesquisa, serão evidenciadas as sinalizações de orientação e salvamento fotoluminescentes e de balizamento, que estabelecem as indicações de ações necessárias para os acessos às rotas de fuga. De modo geral, as sinalizações são classificadas em complementar e a básica (ABNT, 2004a, 2004b).

A sinalização complementar, não obrigatória, é composta por faixas de cor ou mensagens escritas no idioma nacional, localizadas adjacentes à sinalização básica. As indicações de rotas continuadas de fuga são caracterizadas por setas indicativas no

sentido da rota. Podem ser colocadas no piso, centralizadas com a largura da rota, ou aplicadas nas paredes em altura constante entre 0,25m e 0,50m com no máximo 3 metros de distância entre elas (Figura 4). A básica é composta por sinalização de: proibição, alerta, equipamentos e orientação e salvamento, descritas nos itens abaixo (ABNT, 2004a).





Figura 4 - Exemplo de sinalização complementar.



Fonte: ABNT NBR 13434-2, 2004b.

As sinalizações básicas de orientação e salvamento, como foco dessa pesquisa, têm por finalidade indicar as rotas de fuga, mudanças de direção e sentido, acesso a escadas, saídas de emergência, a fim de garantir a segurança dos usuários durante a evacuação (Tabela 1). São representadas por placas retangulares ou quadradas, nas cores verde e branco fotoluminescente (ABNT, 2004a, 2004b).

Tabela 1 - Sinalização básica de orientação e salvamento.

| Sinal   | Informação direcional<br>(ABNT, 2004b)                                  |
|---|---|
|  | Sentido da saída de emergência<br>Direita ou esquerda                   |
|  | Saída de emergência a ser fixada acima da porta                         |
|  | Sentido da rota de fuga.<br>Direita ou esquerda,<br>subindo ou descendo |
|  | Indicação da saída de emergência  |

Fonte: ABNT NBR 13434-2, 2004b.

As sinalizações devem indicar todas as mudanças de direção, saídas, escadas, etc., sem a obstrução de anteparos ou barreiras físicas que possam comprometer sua percepção (ABNT, 2013). Os critérios de instalação estão descritos na parte 1 da norma:

- As sinalizações, no percurso da rota de fuga, bem como nos patamares de escadas, devem ter sua base instalada a uma altura mínima de 1,80m do piso acabado (ABNT, 2004a).
- Nas portas de saídas de emergência, devem ser localizadas logo acima das mesmas, com distância máxima de 0,10m da verga, ou então, diretamente na porta, centralizada a uma altura de 1,80m do piso acabado (ABNT, 2004a).
- Devem ser instaladas de modo que a distância de percurso em qualquer ponto da rota de fuga até a sinalização não ultrapasse a distância máxima de 7,5m. A distância entre as placas não pode ultrapassar 15,0m entre elas (ABNT, 2004a).
- Segundo o item 4.1.1.3 (ABNT, 2004a), os estabelecimentos destinados a local de reunião de público devem possuir sinalização iluminada nas placas de saída, quando não houver aclaramento natural ou artificial suficientes para efetivar o sistema fotoluminescente da sinalização convencional.

A segunda parte da norma determina as características físicas das sinalizações de orientação e salvamento, podendo ser de formato retangular ou quadrado, com pictogramas e informações direcionais fotoluminescentes. Além disso, conforme a Tabela 1 (ABNT, 2004b), estão determinadas as distâncias de visibilidade de acordo com as dimensões das sinalizações, contempladas na integra, no Anexo A deste documento. Porém, as dimensões descritas pela ABNT NBR 13434-2 (ABNT, 2004b), não correspondem as dimensões das placas comerciais conforme exemplo na Tabela 2.

Segundo as determinações da RT Nº 5 – Parte 1.1 (ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2016a), as dimensões mínimas para a implementação das sinalizações de emergência é de 0,30 m x 0,15 m (medidas comerciais), porém não está claro na Tabela 1 (ABNT, 2004b), a distância de visibilidade equivalente para esses sinais. Deste modo, para fins de fiscalização do Corpo de Bombeiros Militar do Rio Grande do Sul, a distância de máxima de visibilidade adotada para as sinalizações comerciais, é 9 metros (Tabela 2).

Tabela 2 – Dimensões das placas de acordo com a distância de visibilidade.

| Sinalização      | Altura da placa (m) | Distância de visibilidade (m) |
|------------------|---------------------|-------------------------------|
| ABNT NBR 13434-2 | 0,126 x 0,252       | 8                             |
| ABNT NBR 13434-2 | 0,158 x 0,316       | 10                            |
| ABNT NBR 13434-2 | 0,190 x 0,380       | 12                            |
| RT Nº 5          | 0,150 x 0,300       | 9*                            |

\*Distância equivalente adotada pelo Corpo de Bombeiros Militar do Rio Grande do Sul.

Fonte: ABNT NBR 13434-2 (ABNT, 2004b) e RT Nº 5 – Parte 1.1 (ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2016a).

A terceira parte estabelece os valores mínimos de luminância para os sinais fotoluminescentes. Luminância, significa a capacidade que um corpo tem de emitir luz, ou seja, refere-se à capacidade de visibilidade dos sinais em ambientes sem iluminação ABNT NBR 13434-3 (ABNT, 2018). Porém, para que os sinais atendam às exigências mínimas estabelecidas durante o evento, as placas devem estar em condições de boa iluminação. Na Tabela 3, estão descritos os valores mínimos estabelecidos em relação ao tempo sem iluminação, a fim de garantir a segurança das pessoas em caso de evacuação.

Tabela 3 - Fator de luminescência das sinalizações fotoluminescentes.

| Sinal Fotoluminescente   | Tempo 10 min           | Tempo 60 min           | Tempo de atenuação                    | Tempo de atenuação                  |
|--------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| Sinalização básica       | 140 mcd/m <sup>2</sup> | 20 mcd/m <sup>2</sup>  | ≥ 1.800 min<br>0,3 mcd/m <sup>2</sup> | ≥ 180 min<br>0,3 mcd/m <sup>2</sup> |
| Sinalização complementar | 20 mcd/m <sup>2</sup>  | 2,8 mcd/m <sup>2</sup> | ≥ 340 min<br>0,3 mcd/m <sup>2</sup>   | ≥ 340 min<br>0,3 mcd/m <sup>2</sup> |

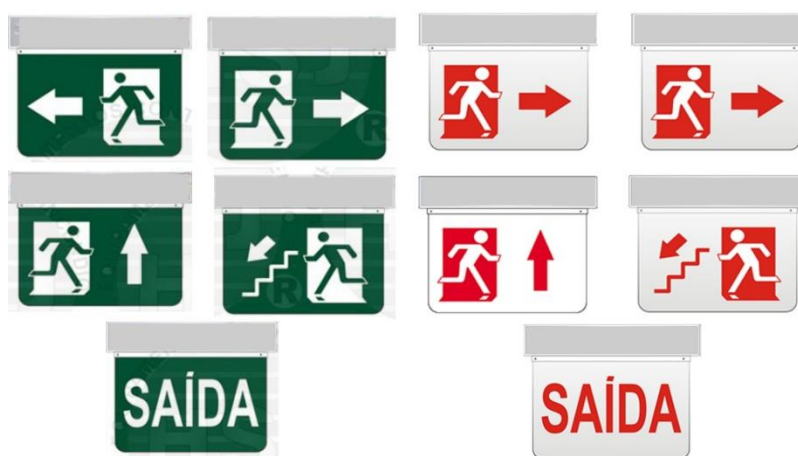
Fonte: ABNT NBR 13434-3, 2018.

Porém, as casas noturnas, por serem ambientes com baixa luminosidade, nem sempre irão garantir que as placas recebam iluminação adequada durante todo o evento. Conforme estabelecido na RTT do Corpo de Bombeiros Militar do Rio Grande do (ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2017), é obrigatória a iluminação de balizamento (sinais iluminados) nas rotas de fuga para as edificações do grupo F-6, no qual sugerem as determinações da ABNT NBR 10898 (ABNT, 2013), referente aos sistemas de iluminação de emergência.

### 2.3.2. Sinalização de balizamento – ABNT NBR 10898

A sinalização de balizamento consiste em sinais com letras e símbolos iluminados, indicado para vias de abandono em locais onde a sinalização fotoluminescente não recebe aclaramento natural ou artificial suficiente, para manter suas propriedades até o final do evento. Para esses sinais, o fundo pode ser na cor branca com textos e símbolos gráficos na cor vermelha ou verde. As sinalizações de balizamento estão exemplificadas na Figura 5.

Figura 5 - Sinalização de balizamento.

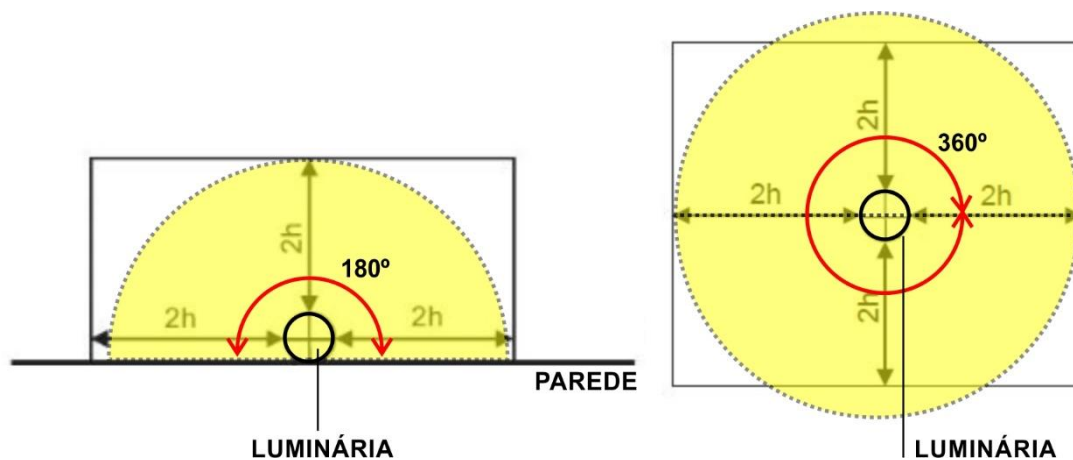


Fonte: HJS Equipamentos de segurança.

Os sinais de balizamento devem ter um fluxo luminoso mínimo de 30 lumens e deve ser vista a uma distância mínima de 5 metros do ponto de vista do observador em condições desfavoráveis de iluminação, conforme o tamanho do sinal (ABNT, 2013). Pode-se considerar para esse sistema o uso de lâmpadas fluorescentes segundo item 4.3 (ABNT, 2013). Sugere-se que a iluminação de emergência deverá ter uma abrangência de 180° quando instalada na parede, ou de 360° quando instalada no teto conforme representada na Figura 6.



Figura 6 - Área de abrangência da iluminação de emergência.



Fonte: ABNT NBR 10898 (ABNT, 2013).

Os requisitos de instalação, quanto à dimensão dos sinais, seguem as mesmas orientações da RT N° 5 – Partes 1.1 e 02 (ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2016a, 2016b).

## Capítulo 3

# SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Este capítulo apresenta um breve comentário sobre a importância das simulações computacionais nas avaliações dos requisitos de incêndio, bem como a exposição de alguns *softwares* disponíveis. Em seguida, são apresentadas as pesquisas de outros autores relacionados ao tema.

### 3.1. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA EVACUAÇÃO DE EMERGÊNCIA

A simulação computacional tem sido uma ferramenta fundamental para os estudos nas áreas de segurança contra incêndio e de comportamento humano frente a situações de emergência. A finalidade da modelagem computacional é a representação de um sistema real, baseado na teoria e coletas de dados, a fim de gerar dados próximos da realidade (XIE, 2011). Os cenários podem ser representados e modificados em diferentes condições experimentais, sem colocar em risco os participantes (KINATEDER *et al.*, 2014).

A utilização das simulações depende da compreensão, da percepção humana e de suas ações em caso de emergência (RONCHI *et al.*, 2019). Em um processo de evacuação, modelar o comportamento de uma multidão é uma tarefa complexa, principalmente pelas interações de movimento e comportamento, além dos condicionantes físicos, psicológicos e cognitivos dos indivíduos (THALMANN e MUSSE, 2007; ARAUJO, 2008; XIE *et al.*, 2012, RONCHI *et al.*, 2019; ROZO *et al.*, 2019).

Uma multidão, geralmente, é formada por um grande número de indivíduos, que por sua vez podem formar grupos com características e comportamentos específicos de acordo com suas habilidades, autonomias e inteligências (THALMANN

e MUSSE, 2007). O comportamento do grupo pode ser motivado pelas pessoas possuírem os mesmos objetivos (como por exemplo, sair do local), além de indivíduos próximos ao grupo tenderem a assumir este comportamento (THALMANN e MUSSE, 2007; CASSOL *et al.*, 2017).

Esses comportamentos podem ser definidos, de forma geral, como local ou global, sendo o comportamento local referente às condições estabelecidas para as interações dos ocupantes, como a competição pelo lugar, ultrapassagem, seguir outros indivíduos, utilização de acessos verticais e detecção de obstáculos. Já o comportamento global é referente ao objetivo que o agente deve atingir e os meios, como as seleções das rotas, saídas, entre outros (XIE, 2011).

Em alguns modelos, os agentes podem ter o conhecimento do espaço como um todo; em outros, apenas de rotas específicas, considerada uma situação ideal, ou ainda não terem conhecimento do local, vista como uma situação mais real, que pode influenciar no processamento das informações e das tomadas de decisão durante uma evacuação (ZHANG, JIA e QIN, 2017; RONCHI *et al.*, 2019). Atualmente, existem inúmeros *softwares* e métodos que avaliam a interação humana com o ambiente, que podem suprir as demandas conforme a necessidade de cada projeto (ZHANG *et al.*, 2012; COSTA e PINHEIRO, 2018).

Em estudos internacionais, o software *building EXODUS*, é uma ferramenta utilizada por pesquisadores como Filippidis *et al.* (2006), Xie *et al.* (2012), Galea *et al.* (2014), Fu *et al.* (2018), para análise do comportamento de multidão em caso de evacuação, considerando as interações pessoa-pessoa, pessoa-fogo, pessoa-estrutura. Nesse *software*, é possível considerar a interação dos indivíduos com as sinalizações de emergência, no processo de evacuação de ambientes complexos. Esse processo é representado por meio da área de captação da visibilidade (*Visibility Catchment Area – VCA*), ou seja, uma área determinada no piso onde a sinalização pode ser percebida pelo usuário (FILIPPIDIS *et al.*, 2006; XIE *et al.*, 2012).

O *software* tem a capacidade de rastrear a trajetória, ao considerar os riscos de incêndio, calor, fumaça e gases tóxicos. Além disso, é possível colocar as diferenças de habilidades entre os indivíduos, baseados em um conjunto de regras, bem como o nível de conhecimento do espaço. O comportamento pode ser global ou local, sendo que o primeiro pode levar o indivíduo a uma saída mais familiar ou útil, pode ser modificado pelo comportamento local que inclui as considerações de

resolução de conflitos, ultrapassagens entre outros processos de tomadas de decisões de acordo com as informações apresentadas para eles no modelo (FILIPPIDIS *et al.*, 2006; XIE *et al.*, 2012).

O *Fire Dynamics Simulator* (FDS)+Evac é um programa combinado para a simulação de incêndio e evacuação de multidões simultaneamente, podendo ser usado apenas para o processo de evacuação. No modelo, é possível configurar as concentrações de gases da fumaça, por meio de cálculos de fogo, que afetarão as velocidades de marcha dos indivíduos. O programa possui uma base de plano bidimensional, e seus resultados podem ser compartilhados com outros *softwares*, um deles, por exemplo, é o *Simulex* (KORHONEN, 2018).

O *Simulex* é um modelo de *software* projetado para simular o comportamento das pessoas na multidão, em espaços grandes e geometricamente complexos. O mesmo permite estabelecer uma série de atributos como posição, ângulo de orientação e velocidade de caminhada, para cada um dos indivíduos simulados. Os agentes heterogêneos possuem características como o uso da força física, de contato e fatores psicológicos, que permitem escolher a própria rota de saída ao se movimentarem (THOMPSON e MARCHANT, 1995).

Além desses atributos, algoritmos de movimento de fuga mapeiam distância, tomadas de decisão, movimentos de ultrapassagem, desvios de rota e alteração da velocidade de deslocamento conforme a aglomeração dos agentes até a saída (THOMPSON e MARCHANT, 1995).

O *Pathfinder* é um simulador de evacuação de emergência que atua por uma malha triangulada tridimensional para representar o modelo simulado e o movimento contínuo dos agentes. A simulação é configurável em módulo (THUNDERHEAD ENGINEERING, 2019). No módulo de direção, os agentes agem independente dos seus objetivos, evitam colisões e obstáculos, aproximando ao máximo do comportamento humano. O módulo SFPE - *Society of Fire Protection Engineers*, ou seja, Sociedade de Engenheiros de Proteção contra Incêndio dos Estados Unidos, utiliza o chamado diagrama fundamental, no qual os agentes seguem conforme as diretrizes estabelecidas como, por exemplo, a velocidade de caminhada dependente do número de ocupantes, permitindo que vários agentes passem pelo mesmo local sem evitarem colisões (THUNDERHEAD ENGINEERING, 2019, tradução nossa). Além disso, possuem configurações padrões para se locomoverem até a saída, como

tempo de fila e usos de catracas, identificando pontos de congestionamento, para cada porta, tempo de caminhada para cada porta, o tempo estimado para cada saída e a distância já percorrida. Todos esses parâmetros podem ser alterados, fazendo com que os agentes possam escolher de evitar filas e ir em direção às saídas mais próximas, ou receber metas específicas como usar escadas ou elevadores, além dos comandos “ir para” e “esperar”.

O software também pode ser utilizado para simulações complexas, com possibilidades de incluir indivíduos com necessidade especiais, como cadeirantes ou acamados, que são assistidos por outros agentes. Fornece resultados precisos e tridimensionais, incluindo os tempos máximos, mínimos e médios, avaliando um indivíduo ou o grupo. Além disso, o programa pode ser vinculado ao *software* Fire Dynamics Simulator ou PyroSim, identificando no modelo áreas alto risco de incêndio e fumaça. Pode ser considerada a influência dos gases tóxicos nos indivíduos, como o dióxido e monóxido de carbono, visibilidade pela fumaça e temperatura, tornando a simulação o mais real possível (THUNDERHEAD ENGINEERING, 2019).

O NetLogo é um programa multi-agente de simulação que permite analisar eventos complexos sejam eles naturais ou sociais, abrangendo interações macro e micro entre os indivíduos. Essa ferramenta é de simples manipulação, elaborada de forma didática para uso de estudantes e pesquisadores, até mesmo sem conhecimento específico na área da computação. Os agente são identificados como “tartarugas” que podem ter qualquer tamanho, forma e posicionamento, movendo-se em uma grade de “patches” programáveis, ou seja, grades quadradas de um sistema bidimensional. Além disso, o modelo determinístico inclui um observador que emite as instruções às “tartarugas”. O modelo permite alterações nas configurações, sem necessidade de reiniciar a simulação. Essas podem ser inseridas de maneira diferente por cada grupo de pessoas como em um sistema de jogo interativo. As informações podem ser capturadas como *prints* de tela ou gravadas, além dos resultados finais poderem ser publicados via web (TISUE e WILENSKY, 2004b).

No Brasil, *softwares* para simulação de multidão em caso de evacuação foram desenvolvidos pelo Laboratório de Simulação de Humanos Virtuais, da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Dentre eles, o *software* *CrowdSim*, que além de simular o comportamento, considera as questões de conforto e segurança

dos agentes envolvidos, em um ambiente previamente mapeado. É possível configurar através de eventos, o comportamento dos agentes a serem executados para a simulação, visando a uma saída mais próxima. Além disso, pode fornecer dados dos pontos críticos do percurso, por meio de mapas de densidade e orientar a tomada de decisões de projeto, antevendo situações indesejadas como as aglomerações (THALMANN e MUSSE, 2007; CASSOL *et al.*, 2012).

Para simular a multidão, alguns parâmetros são considerados, tais como a estrutura física do ambiente, dentre elas a localização das saídas; a funcionalidade do ambiente sendo esse de uso comercial, hospitalar, institucional, etc.; e dados da população como o número e o conhecimento, ou não, do lugar (CASSOL, OLIVEIRA e MUSSE, 2016).

O *BioCrowds* é outro *software* para simular eventos de evacuação, também desenvolvido pelo Laboratório de Simulação de Humanos Virtuais da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – PUCRS. O método para simulação baseia-se num algoritmo de colonização espacial, com padrões de nervura em folhas e galhos de árvores que se ramificam no espaço, com foco no realismo comportamental (BICHO, 2009; BICHO *et al.*, 2012). Promove simular o movimento dos agentes de forma mais próxima aos da vida real, recriando vários aspectos de uma multidão, dentre eles, a tendência das pessoas com mesmo objetivo seguirem umas as outras, como um efeito emergente, formando uma “mente coletiva”, similares aos movimentos reais de uma multidão. Ou seja, o indivíduo pode, ou não, adotar o comportamento dos agentes próximos a eles. A técnica de competição por espaço, evitar colisões, variação da velocidade de deslocamento conforme a densidade populacional, formação de vias de percurso onde o indivíduo seguirá o que está a sua frente, são as características desse programa (BICHO, 2009; BICHO *et al.*, 2012; MATHEW *et al.*, 2018).

A implantação de uma configuração de simulação, como comportamento de exploração de objetivos, permite que os indivíduos descubram o ambiente sem conhecer a localização dos seus objetivos (saída), podendo atingi-las por acaso, ou por meio de estímulos ao longo do caminho. Sendo assim, o sistema permite a inserção das sinalizações de emergência de modo a influenciar o comportamento da multidão através da posição dos sinais. Os mesmos podem ser percebidos a uma distância prescrita, no qual o agente pode reagir, ou não, às informações, o que

possibilita a real interação entre eles (BICHO *et al.*, 2012; MATHEW, *et al.*, 2019). Para maiores informações de como as interações e configurações foram feitas, consultar Mathew *et al* (MATHEW *et al.*, 2018).

### 3.2. ESTUDOS RELACIONADOS SOBRE O TEMA

A implementação da simulação computacional para avaliação das medidas de segurança contra incêndio tem servido de base para muitas pesquisas, tanto nacionais quanto internacionais. Dentre essas, pode-se direcionar ao estudo do comportamento humano frente a condicionantes específicos, como por exemplo as sinalizações de emergência em um processo de evacuação.

A reação humana frente a ameaças de emergência, principalmente em espaços lotados, é uma questão fundamental na prevenção de desastres, gerenciamentos de emergências e planejamentos de evacuações (HAGHANI e SARVI, 2018). Nos casos de desocupação em locais de grande público, o comportamento de um indivíduo acaba sendo influenciado pelo comportamento dos agentes ao redor (KOBES *et al.*, 2010b).

Conforme Sime (2001), os ocupantes localizados mais próximos ao foco de incêndio, tendem a se movimentar mais rápido em relação aos que estão localizados em espaços ou pavimentos diferentes, seja por barreiras visuais ou auditivas. Porém, esse movimento nem sempre significa uma ação de evacuação. Esse comportamento torna-se mais evidente quando as pessoas não são familiarizadas com o local e, principalmente, quando o mesmo não apresenta um sistema de sinalização totalmente perceptível para orientá-los até as saídas (FILIPPIDIS *et al.*, 2006).

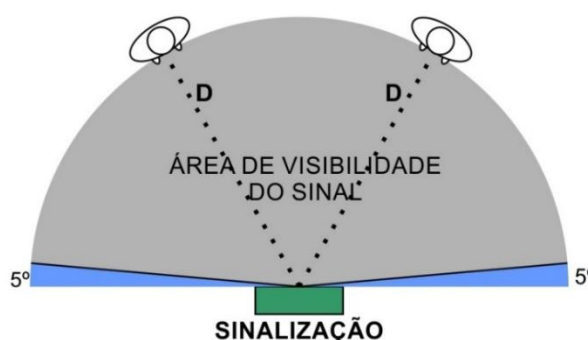
Fu *et al.* (2018) descreve que existem quatro etapas para os indivíduos perceberem e aceitarem as informações dos sinais, estando dentro da área de visibilidade dos mesmos: a) se o sinal é visível; b) se o sinal é visto pelos usuários; c) se o sinal é compreendido e d) se a informação é aceita e usada pelos agentes. Num processo de simulação computacional, uma área determinada para a visibilidade do sinal é chamada de *Visibility Catchment Area* – VCA, ou seja, área de captação da visibilidade (FILIPPIDIS *et al.*, 2006, tradução nossa). Esse área representa a

interação do indivíduo com o sistema de sinalização, por meio da distância máxima de visualização correspondente a uma área de piso no modelo, onde o sinal pode ser fisicamente visto, compreendido e interpretado (FILIPPIDIS *et al.*, 2006; XIE *et al.*, 2007). A distância máxima é determinada pelas normas de cada país. Além disso, consideram-se, também, os aspectos físicos como altura do ocupante, altura da sinalização e altura de algum obstáculo (XIE, 2011).

Os sinais que são implementados nos modelos tridimensionais seguem as normas e regulamentos de segurança de cada país, conforme o objetivo de cada estudo, contemplando requisitos básicos referente ao tamanho do sinal e alturas de instalação (XIE *et al.*, 2007). Contudo, existe uma margem mínima formada por um ângulo de  $5^\circ$ , para que o sinal possa ser efetivamente visível (XIE, 2011).

Para a percepção dos mesmos, critérios são estabelecidos por meio de uma área calculada, considerando a localização do sinal, o tamanho das letras e a altura com relação ao piso. Além disso, a altura do observador e possíveis obstruções também podem ser consideradas (XIE *et al.*, 2007). Sendo assim, todos os sinais dentro da área estabelecida serão capazes de serem percebidos conforme mostra a Figura 7.

Figura 7 - Área de captação de visibilidade da placa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para isso, os sinais precisam estar fisicamente visíveis para serem rapidamente interpretados, pois em uma situação de incêndio, a percepção do perigo pode influenciar essa interação, devido à velocidade de movimento das pessoas (KOBES *et al.*, 2010a; XIE *et al.*, 2012). A velocidade de escape está associada a diversos fatores, como presença ou não de fumaça e dos gases tóxicos, proximidade do foco



do incêndio, luminosidade do ambiente, condições físicas dos usuários, idade, fatores psicológicos como pânico, além da possibilidade das mesmas poderem ser conduzidas por outras pessoas, ou guiarem-se apenas pela presença, dos sistemas de sinalizações (JIN, 1997; SIME, 2001; FILIPPIDIS *et al.*, 2006; ABOLINS, NOMELLINI e BIANCHINI, 2008; KOBES *et al.*, 2010a, 2010b; XIE, 2011). Além disso, as condições de *layout* como as larguras disponíveis nas rotas de fuga, bem como acessos de escadas ou rampas, irão influenciar na velocidade de movimento, principalmente em relação à evacuação de multidão (ABOLINS, NOMELLINI e BIANCHINI, 2008; CHEN *et al.*, 2018). Segundo Cunha e Martinelli Jr. (2008), a velocidade média de caminhada de uma pessoa varia entre 1 m/s e 2 m/s, dependendo das condições do evento.

Considerando uma condição de evacuação sem fumaça, Xie (2011), por meio de experimentos reais, observaram que a velocidade média de caminhada das pessoas foi de 1,2 m/s durante a evacuação de um edifício institucional. Outros estudos como, por exemplo, Tang, Wu e Lin (2009), apontam que a velocidade média das pessoas em deslocamento horizontal foi de 1 m/s em ambiente virtual desconhecido. Já para Filippidis *et al* (2006) e Xie *et al.* (2012), as pessoas que participam de ambos os estudos, foram orientadas a evacuarem o mais rápido possível; nesses casos, observaram que a velocidade média de caminhada variou entre 1,2 m/s e 1,5 m/s. Com base no estudo de Cassol (2016), a velocidade média máxima das pessoas durante a evacuação real foi de 1,5m/s, já para a simulação computacional a velocidade máxima estabelecida para os agentes foi de 1,3 m/s.

Embora na simulação real as pessoas tenham sido conduzidas por outras, as mesmas deixaram o local o mais rápido possível, simulando uma condição de pânico (CASSOL, 2016). Por fim, a velocidade média em um processo de evacuação pode variar conforme cada situação e condição. Deste modo, vários estudos vêm sendo realizados para avaliar diferentes condições de evacuação, a fim de se obter dados mais compatíveis com a vida real, principalmente com relação ao comportamento da multidão, quando a velocidade de movimento varia, dentre outros aspectos, a fim de sugerirem e realizarem melhorias nos sistemas de segurança como um todo.

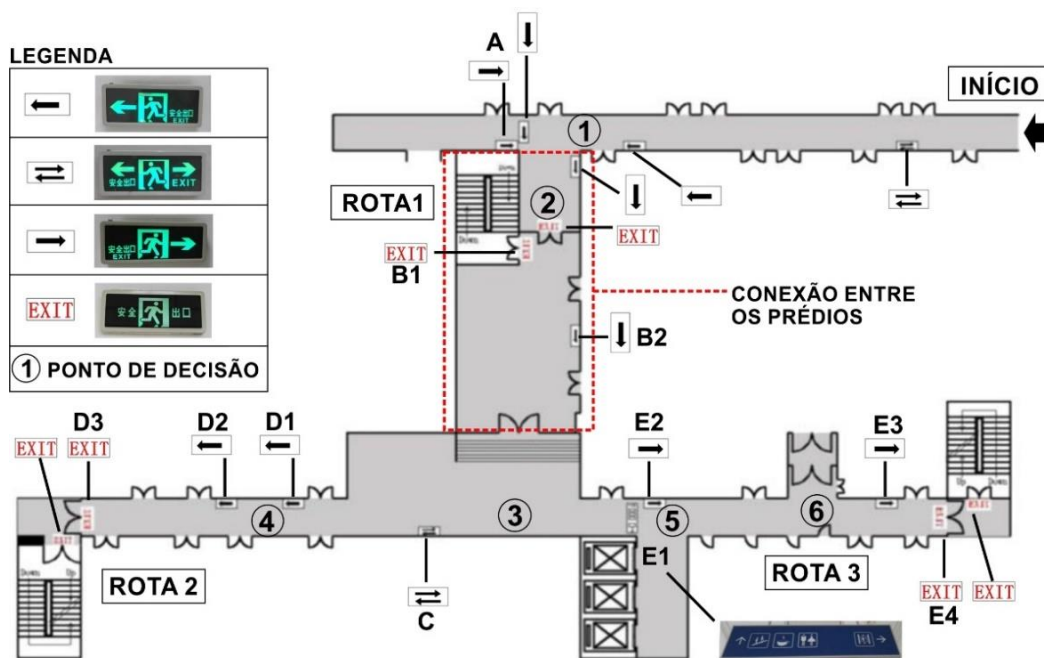
### 3.2.1. **Estudo 01: Percepção das sinalizações para indivíduos sozinhos e em grupo de Fu *et al.* (2018)**

Fu *et al.* (2018) avaliam a diferença de percepção dos sinais para indivíduos sozinhos e em grupo, através de um experimento de simulação real, realizado em dois prédios conectados por uma passarela, em uma universidade na China (Figura 8). A simulação real, ocorreu em uma tarde de sábado, no qual cento e dezenove indivíduos participaram do estudo, sendo 64 homens e 55 mulheres; dentre eles, 15 eram familiarizados com o local e 104 não conheciam o local. Trinta dos participantes eram míopes e 7 deles tiveram dificuldades de perceber os sinais. A questão da fumaça não foi avaliada neste estudo.

Para a simulação, foram estabelecidas 3 rotas de fuga conforme os 3 acessos de escada da edificação. No percurso, havia seis pontos de decisão enumerados de acordo com a Figura 8, iniciando todos pelo mesmo ponto de partida. Os pontos de decisão 1 e 2 correspondem, respectivamente, aos sinais A e B. Os demais pontos de decisão, de 3 a 6, equivalem aos sinais C e D para a rota 2 e E, para a rota 3, conforme a Figura 8 e a Tabela 4.

As sinalizações foram inseridas de acordo com o regulamento chinês do *Code for Fire Protection Design of Buildings* - GB 50016-2014, Código para Projeto de Proteção Contra Incêndio para Edifícios (NATIONAL STANDARD OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA, 2014, tradução nossa). No total, onze placas foram colocadas no ambiente, sendo uma delas diferenciada (E1), que continha informações de acesso à escada e a elevadores. Com exceção da placa E1, as demais sinalizações eram iluminadas e possuíam dimensões de 0,146 x 0,351m, colocadas conforme a Tabela 4:

Figura 8 - Planta baixa esquemática do teste de evacuação.



Fonte: Fu *et al.*, 2018.

Tabela 4 - Especificação das sinalizações.

| Identificação | Sinal   | Placa de informação | Localização              |
|---------------|---|---------------------|--------------------------|
| A             | Direcional direita  |                     | 2m acima do piso         |
| B1            | Exit/ saída   | <b>EXIT</b>         | Acima da porta           |
| B2            | Direcional esquerda                                       |                     | Na parede à 50cm do piso |
| C             | Direcional esquerda e direita                             |                     | Na parede à 50cm do piso |
| D1            | Direcional esquerda                                       |                     | Na parede à 50cm do piso |
| D2            | Direcional esquerda                                       |                     | Na parede à 50cm do piso |
| D3            | Exit/ saída   | <b>EXIT</b>         | Acima da porta           |
| E2            | Direcional direita  |                     | Na parede à 50cm do piso |
| E3            | Direcional direita  |                     | Na parede à 50cm do piso |
| E4            | Exit/ saída   | <b>EXIT</b>         | Acima da porta           |
| E1            | Direcional à frente, toailete, elevadores, acesso escadas |                     | 2,8m acima do piso       |

Fonte: Fu *et al.*, 2018.

Foram realizadas seis simulações, sendo duas individuais e quatro em grupo, no qual todos foram vendados e levados até o ponto de início do percurso (Tabela 5). A abordagem envolvia quatro situações a investigar: movimento individual livre, evacuação individual, movimento do grupo livre e evacuação em grupo. No movimento individual livre, os participantes deveriam caminhar até o destino, sem correr e finalizar o teste individualmente. Já na evacuação individual, deveriam realizar o teste o mais rápido possível e poderiam receber uma recompensa ao estabelecer o percurso em menor tempo. Nas situações individuais, os participantes saíam por uma porta para o corredor e a mesma era fechada para evitar interferências no percurso.

No movimento de grupo livre, os participantes deveriam caminhar até o destino, sem correr, sendo que todos começaram a se mover ao mesmo tempo. Na evacuação em grupo, os participantes deviam deixar o local o mais rápido possível, movendo-se todos ao mesmo tempo. Nesses processos de evacuação, pessoas se destacaram como líderes e seguidores. Ambos os percursos foram realizados duas vezes, a fim de reduzir a aleatoriedade dos resultados.

Tabela 5 - Condições de evacuação em relação ao número de participantes.

| <b>Simulações</b> | <b>Situação</b>            | <b>Número de participantes por simulação<br/>(homens – mulheres)</b> |
|-------------------|----------------------------|--|
| <b>1</b>          | movimento individual livre | 20 (12 – 8)  |
| <b>2</b>          | evacuação individual       | 19 (11 – 9)  |
| <b>3</b>          | movimento do grupo livre   | 20 (10 – 10)   |
| <b>4</b>          | movimento do grupo livre   | 20 (10 – 10)   |
| <b>5</b>          | evacuação em grupo         | 20 (11 – 9)  |
| <b>6</b>          | evacuação em grupo         | 20 (11 – 9)  |

Fonte: Fu *et al.*, 2018.

Os dados foram obtidos por meio de questionários e gravações de vídeos, a fim de avaliar a probabilidade de percepção e aceitação das informações dos sinais, bem como o tempo de decisão em cada ponto, além do número de participantes que captaram o sinal e tomavam suas decisões baseadas nos mesmos. O *software* utilizado para as análises dos dados foram o IBM SPSS Statistics e o teste Fisher.

Os resultados quanto à escolha das rotas de fuga estão na Tabela 6.

Tabela 6 - Número de pessoas evacuadas em relação as rotas de fuga.

| Simulações | Nº de pessoas |        |        |
|------------|---------------|--------|--------|
|            | Rota 1        | Rota 2 | Rota 3 |
| 1          | 10            | 3      | 7      |
| 2          | 9             | 4      | 6      |
| 3          | 16            | 0      | 4      |
| 4          | 11            | 6      | 3      |
| 5          | 20            | 0      | 0      |
| 6          | 20            | 0      | 0      |

Fonte: Fu *et al.*, 2018.

Pode-se perceber que nas condições de evacuação de grupo (simulações 5 e 6), todos os participantes escolheram a rota de fuga 1, a qual era a mais curta. Além disso, a rota 2 foi a menos utilizada do que a rota 3, devido a influência da sinalização E1. A percepção dos sinais e a aceitação das informações para o primeiro, segundo e terceiro pontos de decisão estão descritos na Tabela 7.

Tabela 7 - Percentual das pessoas que perceberam os sinais e aceitaram as informações.

| Simulações | Ponto 1      |               | Ponto 2      |               | Ponto 3      |               |
|------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
|            | Detecção (%) | Aceitação (%) | Detecção (%) | Aceitação (%) | Detecção (%) | Aceitação (%) |
| 1          | 80           | 100           | 45,0         | 77,8          | 72,7         | 100           |
| 2          | 68,4         | 84,6          | 31,6         | 83,3          | 66,7         | 100           |
| 3 - 4      | 65,0         | 77,6          | 42,5         | 65,7          | 66,7         | 83,3          |
| 5 - 6      | 67,5         | 60,8          | 40,0         | 43,8          | 0            | 0             |

Fonte: Fu *et al.*, 2018.

Observou-se que, nas condições individuais, as pessoas estão mais propensas a perceber e seguir as orientações dos sinais, do que nas condições de grupo. Nos pontos de decisão 1 e 2, os sinais foram colocados a um nível mais alto do piso (2 metros), facilitando a percepção dos mesmos e de suas informações.

No ponto 3, as pessoas conseguiram perceber e seguir as informações dos sinais, mesmo sendo instalados próximos ao piso. Aqui os participantes deveriam escolher entre as rotas 2 ou 3 e a maioria optou pela rota 3, devido a facilidade de percepção do sinal E1, sendo essa de maior dimensão, além de conter outras informações. Pode-se perceber, portanto, que os sinais colocados a um nível mais próximo do piso têm menor propensão de serem percebidos que os sinais mais altos,

especialmente nas condições individuais. Porém, as simulações foram realizadas em condições normais, sem considerar fumaça e fogo como fatores condicionantes.

De modo geral, os resultados mostraram que os participantes têm a tendência de evacuar pelas saídas mais próximas e acessíveis e que a percepção dos sinais para indivíduos em grupo é menor do que a percepção individual. Entretanto, quando os sinais são detectados, possuem uma influência positiva na tomada de decisão, principalmente aqueles que possuem a instalação mais alta, ou seja, próximos ao teto. Além disso, observou-se que, nas simulações de grupo, a tomada de decisão para a estabelecer a rota de fuga foi afetada pelas interações dos membros (FU *et al.*, 2018).

Por fim, a probabilidade de percepção de um sinal em caso de emergência é menor do que em condições normais, das quais os participantes evacuam rapidamente, o que pode negligenciar as informações disponíveis. Para estudos futuros, os autores sugerem avaliar a influência das pessoas familiarizadas ou parcialmente familiarizadas com o local no processo de evacuação, principalmente por esses serem os possíveis líderes durante o percurso (FU *et al.*, 2018).

Esses resultados têm implicações importantes para a modelagem e o planejamento de evacuação. Os dados referentes às probabilidades de detecção e aceitação de sinalização, o impacto quanto aos locais de sinalização e a influência social do grupo, indicam que se incorporados a um modelo, permitiriam uma descrição mais realista dos processos de evacuação envolvendo indivíduos e grupos (FU *et al.*, 2018).

Embora as simulações tenham sido realizadas em uma situação sem fumaça e com boa luminosidade, a detecção dos sinais pelos indivíduos pôde ser avaliada, no qual, as sinalizações tiveram uma influência maior na evacuação individual do que na evacuação em grupo. Em grupo, o comportamento de um indivíduo, principalmente quando este é familiarizado com o local, pode influenciar no comportamento do outro, negligenciando o sistema de sinalização existente.

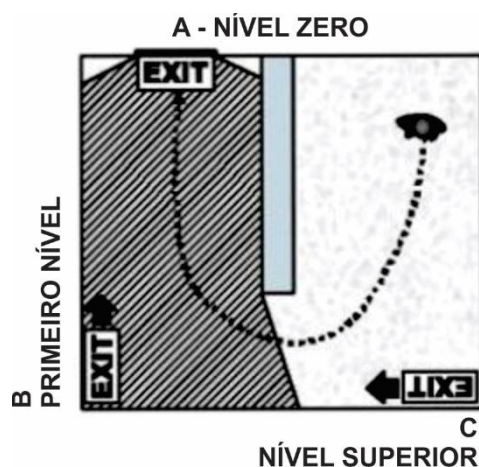
Além disso, as pessoas têm a tendência de evacuarem pelas saídas mais próximas, porém, nem sempre, podem ser as mais adequadas. Contudo, quando a sinalização é mais evidente, seja por sua dimensão ou localização, proporcionam maior visibilidade aos indivíduos, indicando as saídas corretas até mesmo em situações de grupo.

### 3.2.2. Estudo 02: percepção do sistema de sinalização de emergência por meio de simulação computacional por Filippidis *et al.* (2006)

Com objetivo de avaliar a percepção do sistema de sinalização de emergência pelos agentes durante um processo de evacuação, Filippidis *et al.* (2006) realizaram simulações computacionais em um modelo genérico de um supermercado, por meio de cinco cenários diferentes, utilizando o *software building* EXODUS V4.0.

Nessas simulações, foi incorporado o conceito de *Visibility Catchment Area* – VCA, para representar a região das interações dos agentes com os sinais. O primeiro passo dessas interações corresponde à visibilidade e à detecção do sinal, para, posteriormente, reconhecer e interpretar as informações transmitidas e agir conforme as mesmas. Pra isso, foi criado um sistema de identificação dos sinais dado em três níveis conforme mostra a Figura 9.

Figura 9 - Sistema de identificação dos sinais nos três níveis.



Fonte: Filippidis *et al.*, 2006.

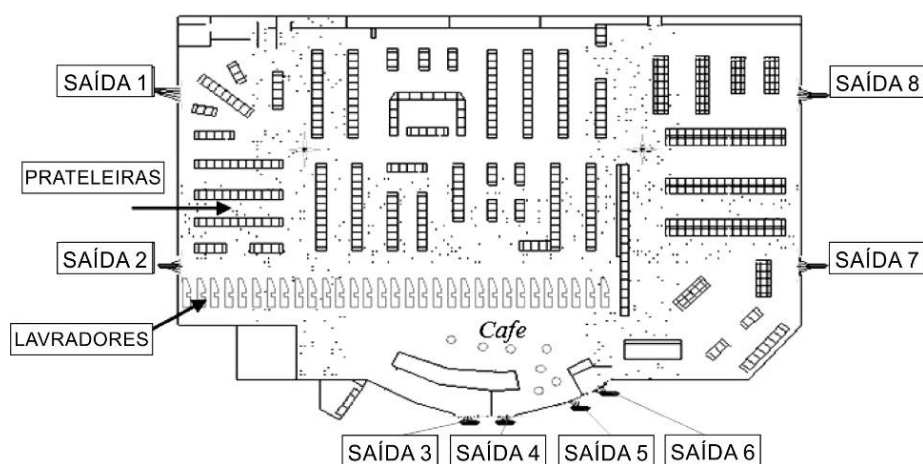
Os sinais de nível zero referem-se aos que estão inseridos diretamente acima das portas. Os de primeiro nível são os que apontam diretamente para o destino/objetivo. Os de nível superior são os que direcionam a outro sinal durante o percurso.

Todas as regiões no modelo, que permitissem a visualização direta dos sinais (sem a interferência de algum objeto), foram consideradas perceptíveis dentro do VCA

do sinal. Apenas as propriedades físicas dos sinais, como a distância de visibilidade estabelecidas pelas normas, foi considerada. As demais características como tamanho das letras, cores, iluminação do sinal, não foram implementados. Além disso, não foram consideradas as interações com a fumaça para estas simulações.

Conforme a Figura 10, apenas as saídas principais (saída 3 a 6) e as de emergência (saídas 1, 2, 7 e 8), eram sinalizadas com placas instaladas acima de cada porta, a uma altura de 2,20m do piso.

Figura 10 - Modelo tridimensional do supermercado.



Fonte: Filippidis *et al.*, 2006.

No modelo, foram colocados 1.000 (mil) agentes, com altura padrão de 1,75m, distribuídos aleatoriamente em uma área de 2.927m<sup>2</sup>. Presumiu-se que os mesmos reagiriam imediatamente após o início da evacuação, definindo o tempo de resposta como zero, ou seja, não foi considerado o tempo de reação ou pré-movimento. Além disso, em todos os cenários a velocidade de deslocamento dos agentes foi ajustada para variarem entre 1,2 m/s e 1,5 m/s (FILIPPIDIS *et al.*, 2006). A partir dessas determinações, foram estabelecidos os cinco cenários deste estudo.

Cenário A: os agentes não tinham conhecimento das saídas de emergência (1 e 2, 7 e 8), tendo o conhecimento apenas das saídas principais de 3 a 6, consideradas saídas de uso diário. A altura das letras dos sinais para esse cenário foi de 0,152m, correspondendo a uma distância de visibilidade de 30 metros conforme o código NFPA 101: 1997 (NFPA, 2018).



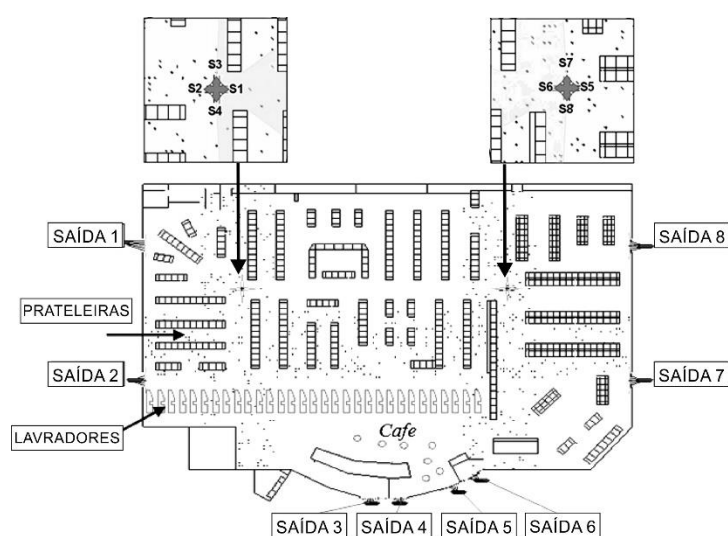
Cenário B: os agentes tinham conhecimento de todas as saídas (principais e de emergência), podendo utilizar a que fosse mais próxima. Aqui os sinais tinham 0,304m de altura, correspondendo a uma distância de visibilidade de 60 metros, conforme o código NFPA 101:1997 (NFPA, 2018).

Cenário C: Saída binária: nesse cenário, supõe-se que os agentes tinham conhecimento apenas das saídas principais. Porém, durante a evacuação, utilizando o sistema de VCA (com 100% de percepção e aceitação das informações), os mesmos poderiam tomar conhecimento dos outros sinais e seguiriam as informações apenas se as saídas de emergência fossem mais próximas. Os dois tamanhos de sinais foram avaliados, todos eles localizados acima das portas principais e de emergência.

Cenário D: Saída de decisão direcional: aqui os agentes eram familiarizados apenas com as saídas principais. Utilizando o sistema de VCA (com 100% de percepção e aceitação) durante a evacuação, os mesmos podem seguir as informações apenas se as saídas forem mais próximas. Porém, se o ocupante estivesse na área de VCA, de costas, ele seria menos propenso a perceber e seguir essas informações. Os dois tamanhos de sinais foram avaliados.

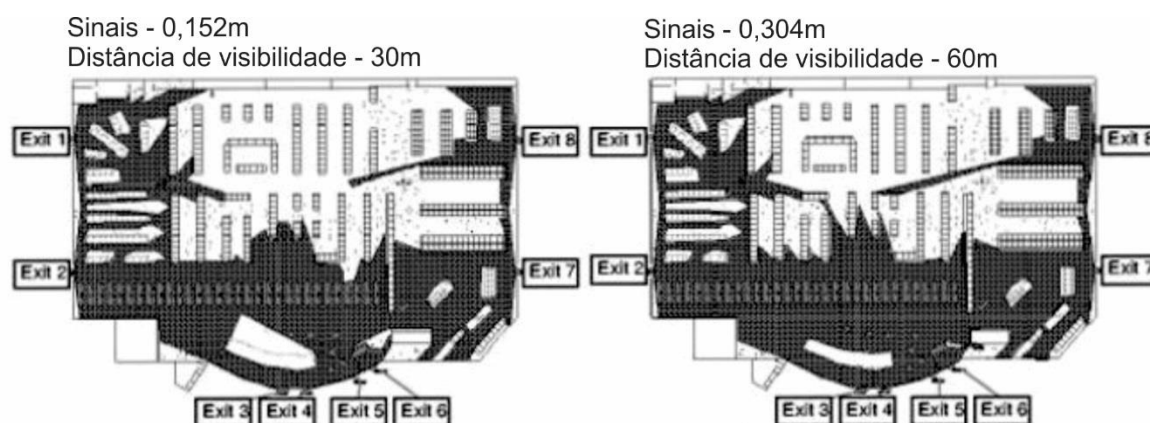
Cenário E: esse cenário é similar ao anterior, porém oito sinais adicionais são inseridos a 2,20m de altura do piso, nos corredores do modelo, totalizando 16 placas de sinalização, conforme Figura 11:

Figura 11 - Modelo tridimensional do supermercado - sinalizações.



As áreas de cobertura visual dos diferentes sinais são representadas pelas áreas escuras na Figura 12. Contudo, para os sinais menores (letras de 0,152m) e para os sinais maiores (letras de 0,304m) as áreas de visibilidade são praticamente iguais, evidenciando a interferência dos mobiliários na eficácia do sistema de sinalização.

Figura 12 - Área de visibilidade dos sinais.



Fonte: Filippidis *et al.*, 2006.

Para cada cenário, foram realizadas 30 simulações. Os resultados estão representados na Tabela 8:

Tabela 8 – Média dos tempos de evacuação.

| Cenários | Média dos tempos de evacuação                |  |
|----------|--|--|
|          | Sinais com letras de altura 0,152m (menores) | Sinais com letras de altura 0,304m (maiores) |
| A        | 3 min e 2 s                                  | -  |
| B        | -  | 1 min 22 s                                   |
| C        | 1 min 18 s                                   | 1 min 12 s                                   |
| D        | 1 min 59 s                                   | 1 min 59 s                                   |
| E        | 1 min 23 s                                   | 1 min 25 s                                   |

Fonte: Filippidis *et al.*, 2006.

No cenário A, os agentes deveriam evacuar pela saída principal mais próxima, ignorando as demais. Já no cenário B, os agentes tinham conhecimento de todas as saídas, devendo escolher a mais próxima. Assim, os tempos aferidos na Tabela 8

mostram que quando os agentes fizeram uso apenas das saídas familiares (cenário A), o tempo de evacuação foi maior do que quando os mesmos fizeram o uso das saídas mais próximas como no cenário B. Além disso, na comparação desses dois cenários A e B, o aumento na dimensão dos sinais influenciou significativamente no tempo de evacuação.

O cenário C produziu o menor tempo de evacuação, para ambos tamanhos de sinais. Aqui, os agentes dispostos mais próximos das saídas de emergência puderam escolher o caminho mais imediato, mudando de direção de acordo com a percepção dos sinais através das regiões de VCA. Para os agentes dispostos nas áreas onde a visibilidade dos sinais não cobre (Figura 12), os agentes dirigiram-se para as saídas principais; porém, quando interceptam as áreas de visibilidade, puderam escolher a saída que fosse mais próxima.

Como os dois tamanhos de sinais foram avaliados, os tempos de cada sinal está representado na Tabela 9. Já a distância percorrida para ambos os sinais, foi praticamente a mesma sendo 26,7m para os sinais menores e 26,4 para os sinais maiores.

Tabela 9 - Resultados do cenário C

| Cenário C             | Condição                   |                           |                      |
|-----------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------|
|                       | Tempo evacuação individual | Tempo de congestionamento | Distância percorrida |
| <b>Sinais menores</b> | 31 s                       | 30,4 s                    | 26,7 m               |
| <b>Sinais maiores</b> | 9,3 s                      | 8,8 s                     | 26,4 m               |

Fonte: Filippidis *et al.*, 2006.

Embora o tempo de evacuação do cenário D tenha sido maior (exceto cenário A), os autores consideram ser o mais representativo. Aqui, nas 30 repetições de simulação, apenas 17% dos agentes perceberam os sinais alternativos.

Durante o percurso, as mudanças de direção em relação as ultrapassagens ou outros movimentos pode aumentar a probabilidade de os agentes interceptarem as áreas de VCA. No entanto, mesmo o sinal sendo maior, tendo uma região de visibilidade maior, não garante que o ocupante perceba o sinal e siga suas informações, se a distância indicada for maior. Aqui, os tempos de evacuação para os

dois tamanhos de sinais, bem como as distâncias percorridas, estão representados na Tabela 10.

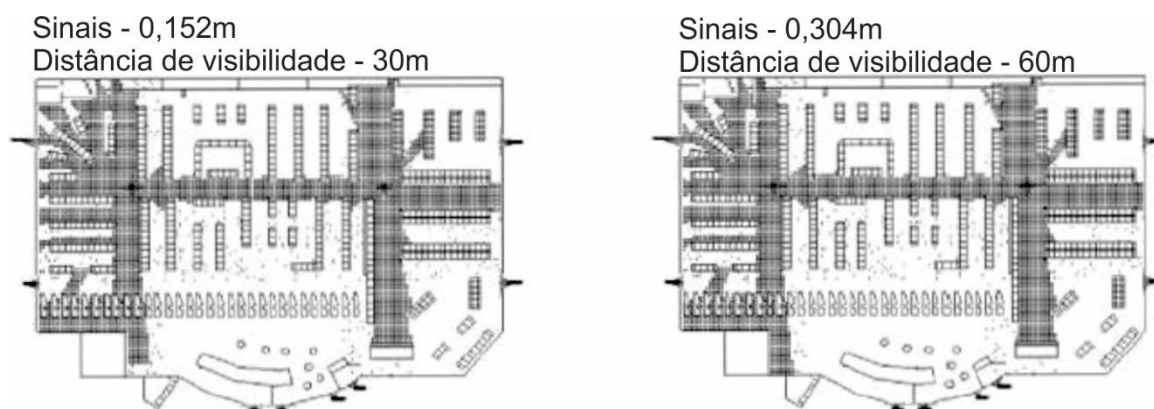
Tabela 10 – Resultados do cenário D.

| Cenário D             | Condição                   |                           |                      |
|-----------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------|
|                       | Tempo evacuação individual | Tempo de congestionamento | Distância percorrida |
| <b>Sinais menores</b> | 39,7 s                     | 38,9 s                    | 32,4 m               |
| <b>Sinais maiores</b> | 13,6 s                     | 13 s                      | 32,1 m               |

Fonte: Filippidis *et al.*, 2006.

No cenário E, a redução dos tempos em relação ao cenário D, deu-se pela implementação de 8 sinais de primeiro nível além dos originais, direcionando os indivíduos de maneira mais eficiente para as saídas mais próximas. As áreas adicionais de cobertura desses sinais estão ilustrados na Figura 13.

Figura 13 - Área de visibilidade dos sinais adicionais.



Fonte: Filippidis *et al.*, 2006.

Os sinais adicionais menores cobriam uma área de 31,6%, somado aos sinais originais, a área de cobertura total ficou de 68,5%. Para os sinais maiores, a área de cobertura dos sinais adicionais foi de 31,9%, somado aos originais, contemplam 71,8% da área total do espaço. Para esse cenário, os tempos obtidos para os diferentes sinais estão representados na Tabela 11.

Tabela 11 - Resultados do cenário E.

| Cenário E             | Condição                   |                           |                      |
|-----------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------|
|                       | Tempo evacuação individual | Tempo de congestionamento | Distância percorrida |
| <b>Sinais menores</b> | 34,2 s                     | 10,9 s                    | 28,7 m               |
| <b>Sinais maiores</b> | 33,7 s                     | 10,6 s                    | 28,5 m               |

Fonte: Filippidis *et al.*, 2006.

Este cenário é similar ao cenário D, portando pode-se observar que a implementação de mais sinais permitiu a redução da distância percorrida e, conseqüentemente, a redução de 30% no tempo total de evacuação. Assim, tornou-se evidente a eficácia de um sistema de sinalização bem projetado.

Por fim, os autores concluem que o sistema de visibilidade de sinais pode ser inserido a um modelo de simulação, como meio de interação entre os agentes e que os mesmos são dotados de uma probabilidade de tomar as decisões com relação aos sinais. Além disso, o aumento da percepção do sistema de sinalização, seja na implementação de novas placas ou aumentando as dimensões dos sinais, contribui para a redução do percurso da rota de fuga, por meio da sugestão de rotas alternativas mais próximas, fato que diminuiu, conseqüentemente, o tempo de evacuação. Porém, percebeu-se também que os agentes têm a tendência de utilizar o caminho mais curto até a saída. Além disso, as obstruções como os mobiliários, entre outras barreiras visuais, devem ser levadas em conta para determinar a capacidade de visualização do sinal (FILIPPIDIS *et al.*, 2006).

Em termos de simulação computacional a implementação do conceito da área de visibilidade dos sinais (VCA), permitiu avaliar a percepção das diferentes características físicas das sinalizações, como por exemplo, neste estudo, o tamanho das letras dos sinais em relação a distância de visibilidade dos agentes. Conforme o *software* esse conceito pode favorecer também a avaliação dos sistemas considerando as barreiras físicas do local, sendo estas fundamentais na instalação de um sistema mais eficiente. Além disso, este conceito também pode ser representativo em relação a uma simulação sem fumaça.

Neste estudo, foi evidenciado novamente a intenção dos agentes utilizarem rotas mais curtas para evacuarem. Porém, ao identificarem o sistema de sinalização,

podem optar por rotas alternativas contribuindo para a redução do tempo de evacuação.

### **3.2.3. Estudo 03: Dados de simulação real implementados em uma simulação computacional por XIE *et al.* (2012)**

Em complemento com a pesquisa anterior (FILIPPIDIS *et al.*, 2006), XIE *et al.* (2012) tiveram por objetivo determinar a probabilidade de 68 ocupantes perceberem, interpretarem e agirem corretamente conforme as informações dos sinais de emergência, quando localizados dentro da área de visibilidade dos mesmos, durante uma simulação de evacuação real no edifício Queen Anne, na Universidade de Greenwich em Londres (Figura 14). As simulações foram realizadas fora do horário de aulas, em boas condições de iluminação, sem considerar fatores influentes como fumaça, bem como as interações entre os participantes. Os resultados dessa simulação foram obtidos por meio de filmagens, questionários e entrevistas. Posteriormente, os mesmos foram implementados a um modelo tridimensional genérico de um supermercado, sendo reavaliados por meio do *software building* EXODUS, a fim de investigar o impacto e a influência da sinalização, no processo de simulação computacional de evacuação em uma edificação complexa.

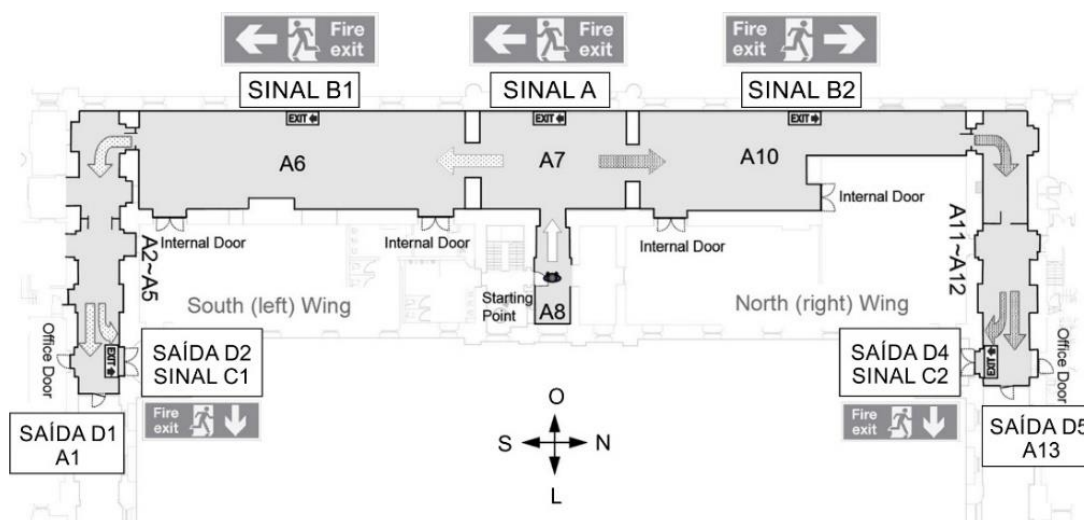
Para a simulação real, os participantes deveriam percorrer o corredor da edificação, com planta em formato “T”, partindo do ponto A8 conforme a Figura 14. Foram instruídos a, individualmente, evacuarem rapidamente o local, porém sem correr, por qualquer rota que achassem mais apropriada. Dentre os 68 participantes, 36 eram mulheres e 32 eram homens. No total, 41 indivíduos não eram familiarizados com o local e 27 tinham conhecimento total ou parcial do edifício.

O percurso envolvia 3 pontos de decisão: A10, A11 e A12 para o corredor norte e A6, A2 e A5 para o corredor sul. A configuração de ambos eram praticamente iguais, contendo em cada um, uma porta nos pontos A6 e A10, que davam acesso a outro corredor na continuidade do percurso de saída. No final de cada percurso, havia três portas, sendo uma delas a saída de emergência (Figura 14).

Os sinais de emergência fotoluminescentes foram locados de acordo com as normas britânicas: BS 5499-1:2002 e BS 5499-4:2000 (BS, 2000, 2002), vigentes na

época (Figura 15). Segundo essas, todos os sinais de dimensões 0,10 x 0,30m, foram instalados a uma altura de 2,20m acima do piso, em áreas bem iluminadas, correspondendo a uma distância de visualização de 30m.

Figura 14 - Planta do Edifício Queen Anne.



Fonte: Xie *et al.*, 2012.

Figura 15 - Sinalização de emergência.



Fonte: Xie *et al.*, 2012.

Conforme os resultados, no terceiro ponto de decisão, pontos A5 (sul) e A12 (norte), as portas de saída tinham aparências distintas e influenciaram na escolha da saída. Para os participantes não familiares que escolheram a rota sul, metade deles escolheu a saída pela aparência da porta e não pelo sinal. Em comparação com os participantes não familiares que escolheram a rota norte, todos utilizaram a sinalização para a escolha da saída. Sendo assim, os resultados específicos dos terceiros pontos de decisão não foram apresentados. Os demais resultados estão descritos na Tabela 12.

Tabela 12 - Resultados nos pontos de decisão 1 e 2.

| Ponto de decisão                                   | Ocupantes          | Não detectaram o sinal | Detectaram o sinal | Detectaram e seguiram o sinal | Tempo de decisão (s) |            |            |
|--|--------------------|------------------------|--------------------|-------------------------------|----------------------|------------|------------|
|  |                    |                        |                    |                               | Nº pessoas           | Nº pessoas | Detectaram |
| <b>27 familiarizados<br/>41 não familiarizados</b> |                    |                        |                    |                               |                      |            |            |
| <b>Ponto 1</b>                                     | Familiarizados     | 18                     | 9                  | 9                             | 1,9                  | 5          |            |
| <b>A7</b>  | Não familiarizados | 25                     | 16                 | 16                            | 2,6                  | 5,6        |            |
| <b>Sinal A</b>                                     | Familiarizados     | 20                     | 7                  | 7                             | -                    | -          |            |
| <b>Ponto 2</b>                                     | Familiarizados     | 20                     | 7                  | 7                             | -                    | -          |            |
| <b>A6 e A10</b>                                    | Não familiarizados | 26                     | 15                 | 15                            | -                    | -          |            |
| <b>Sinais B1 e B2</b>                              | Não familiarizados | 26                     | 15                 | 15                            | -                    | -          |            |

Fonte: Xie *et al.*, 2012.

No primeiro ponto de decisão A7 (sinal A), pode-se perceber que a familiaridade com o local influenciou na escolha da rota. Dos 27 participantes familiarizados com o local, 18 não utilizaram a sinalização e 12 desses escolheram a rota correta com base na compreensão do edifício. Já para 25 dos 41 participantes não familiarizados com o local, apenas 12 seguiram pela rota correta. Para ambos, o tempo de decisão para as pessoas que perceberam os sinais foi menor contribuindo para redução no tempo do percurso de saída.

O segundo ponto de decisão que corresponde aos sinais B1 e B2 colocados respectivamente nos pontos A6 e A10 (Figura 14), apenas 15 dos participantes não familiarizados com o local detectaram os sinais, dos quais 14 seguiram as informações. Dos participantes familiarizados com o local apenas 7 detectaram o sinal e destes, apenas 6 afirmaram o impacto das informações.

Em conclusão geral referente a taxa de detecção dos sinais, os resultados dos dois pontos de decisão (1 e 2) foram combinados por meio de cálculos estatísticos. Desta forma, cada um dos pontos de decisão contou com a população total, ou seja, com 41 participantes não familiarizados e 27 familiarizados com o local, totalizando 82 pessoas não familiarizadas e 54 familiarizadas para os dois pontos. Das 82 pessoas que não conheciam o lugar, apenas 31 (38%) delas perceberam os sinais. Já para as 54 pessoas que eram familiarizadas com o local, apenas 16 (30%) detectaram os sinais.

Porém, nem todas as pessoas que detectaram os sinais, afirmaram interpretar corretamente as informações. No ponto 2, das 22 pessoas que detectaram os sinais, 20 conseguiram interpretar as informações. Já no ponto um as 25 pessoas que

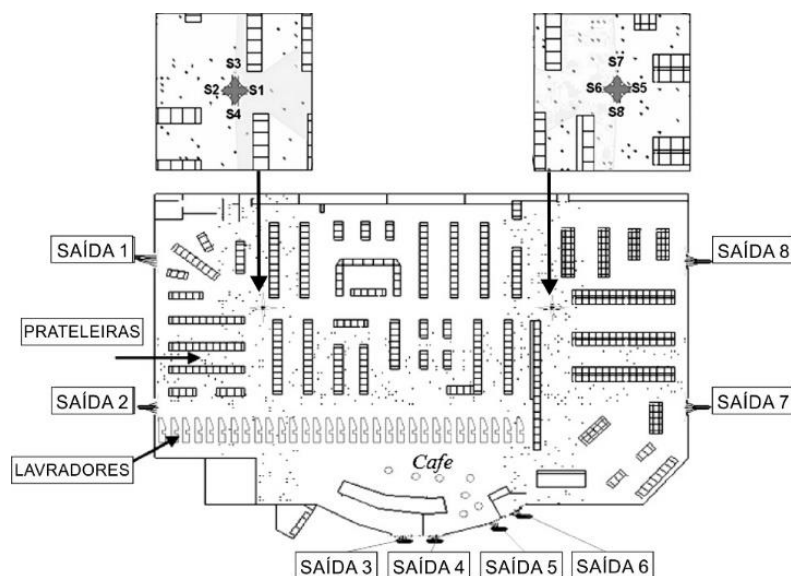


detectaram os sinais, seguiram as informações. Desta forma das 47 pessoas que perceberam os sinais, apenas 45 seguiram as informações. Sendo assim, pôde-se concluir que 38% dos participantes não familiarizados com o local foram capazes de detectar os sinais e, dentre esses, 97% interpretam corretamente a informação. Sendo assim, os sinais, quando detectados, influenciaram diretamente no processo de decisão.

Com base na simulação real, os autores puderam concluir que os sinais tiveram uma taxa de visibilidade muito baixa, indicando que os sinais fotoluminescentes podem não ser tão eficazes quanto deveriam ser. Porém, para as pessoas que não conhecem o local, os sinais contribuem na escolha da rota de fuga.

Os dados da simulações reais foram inseridos no *software* de simulação computacional *building* EXODUS e avaliados por meio de quatro cenários hipotéticos, em um modelo tridimensional genérico de um supermercado, utilizado por Filippidis *et al.* (2006), conforme Figura 16.

Figura 16 - Modelo tridimensional do supermercado.



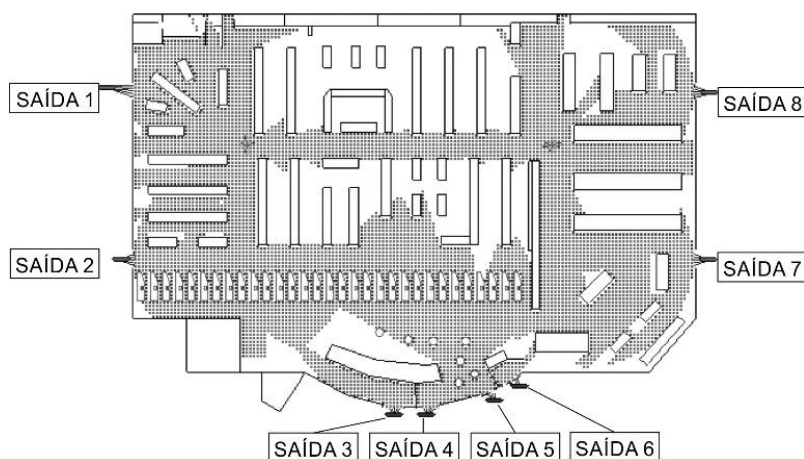
Fonte: Xie *et al.*, 2012.

O modelo possui aproximadamente 79m de largura e 55m de comprimento, porém a área, onde o movimento dos agentes é permitido, é de 2.927m<sup>2</sup>. Possui 4 saídas principais e 4 saídas de emergência alternativas, com largura de 2,5m. A

posição dos mobiliários são as mesmas do estudo anterior: 2,5m e 1,80 para as prateleira e 1,2m para as mesas (FILIPPIDIS *et al.*, 2006).

No cenário, foram instalados 16 sinais fotoluminescentes. Oito (de S1 à S8), foram distribuídas acima de todas as portas de saída. As demais foram colocadas no corredor principal. Todos os sinais foram instalados a uma altura de 2,20m acima do piso, seguindo as normas britânicas. As letras dos sinais foram estimadas em 0,152m de altura, correspondendo a uma distância de visibilidade de 30m. A área de visibilidade dos sinais do modelo é de 1.914,5m<sup>2</sup>, correspondendo a 65,4% de toda a área (Figura 17).

Figura 17 - Área de visibilidade dos 16 sinais.



Fonte: Xie *et al.*, 2012.

As simulações foram realizadas com 1.000 (mil) agentes, com altura padrão de 1,75m. Presume-se que todos não eram familiarizados com o local (com exceção do cenário 2). Além disso, a velocidade de movimento dos agentes variou de 1,2 m/s a 1,5 m/s, configurando uma situação de evacuação rápida.

Nessas simulações, quando os agentes visualizaram os sinais, poderiam, ou não, aceitar suas informações conforme o tempo estimado até a saída final mais próxima. O tempo de reação foi zero, ou seja, reagiriam imediatamente após o sinal de evacuação. Deste modo, os cenários estabelecidos foram os seguintes:

Cenário 1: todos os ocupantes utilizaram apenas as 4 saídas principais (SAÍDA 3, 4, 5 e 6), porém todas as demais sinalizações foram ignoradas.

Cenário 2: todas as saídas estavam disponíveis, porém todas as informações foram ignoradas, considerando que todos os agentes tinham o conhecimento do lugar. Os agentes devem buscar a rota mais curta para evacuar.

Cenário 3: os indivíduos têm conhecimento apenas das 4 saídas principais, porém cada agente recebe uma probabilidade de detecção e aceitação de 100% das sinalizações disponíveis, a fim de escolher a rota mais curta.

Cenário 4: semelhante ao cenário 3, porém nesse caso, mesmo quando os agentes estiverem dentro da área de visibilidade dos sinais, os mesmos terão 38% de chance de detectar o sinal, com 97% de probabilidade de aceitação das informações.

Cada cenário foi simulado com repetição de dez vezes. A Tabela 13 apresenta os resultados de cada um conforme o tempo de evacuação.

Tabela 13 - Resultados dos tempos de evacuação.

| <b>Cenários</b>  | <b>Tempo de evacuação (s)</b> | <b>Tempo de congestionamento (s)</b> |
|------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Cenário 1</b> | 183,7                         | 38,3                                 |
| <b>Cenário 2</b> | 81,6                          | 12,4                                 |
| <b>Cenário 3</b> | 98                            | 12,9                                 |
| <b>Cenário 4</b> | 147                           | 24,3                                 |

Fonte: Xie *et al.*, 2012.

No cenário 1, todos os agentes saíram pelas 4 portas principais. Por esse motivo, gerou-se um aglomerado de pessoas nesses locais, de modo que as saídas não foram suficientes, excedendo a capacidade da multidão, acarretando em um tempo de espera de 38,3 segundos.

No segundo cenário, 678 dos agentes utilizaram as 4 saídas de emergência alternativas, resultando em um tempo menor de evacuação em comparação aos outros cenários. Já no terceiro cenário, em média 420 dos agentes utilizaram as saídas de emergência alternativas. Para o cenário 4, uma média de 167 agentes usaram as saídas de emergência.

Com base nos quatro cenários apresentados, a média de percepção dos agentes para os sinais fotoluminescentes de 0,10 x 0,30m, em boas condições de iluminação foi de apenas 38% para as pessoas não familiarizadas com o local. Dentre esses, 97% seguiram as informações de orientação.

Portanto, pode-se concluir que os sinais contribuem para a indicação das rotas saídas, reduzindo os tempos de evacuação em ambientes complexos, principalmente para as pessoas não familiarizadas com o local. Porém, as sinalizações fotoluminescentes possuem uma baixa capacidade de detecção, evidenciado principalmente pelas simulações do cenário 4. Em uma simulação real, espera-se que as pessoas não familiarizadas com o ambiente façam uso dos sinais para auxiliar na escolha da rota de fuga, especialmente quando não são guiados pelos funcionários do local. Deste modo, percebeu-se a necessidade de aumentar a capacidade de percepção dos sinais fotoluminescentes como por exemplo, aumentar o tamanho dos mesmos ou, introduzir estímulos sonoros e/ou visuais, que poderão efetivar a capacidade de visualização e aceitação das informações (XIE *et al.*, 2012).

Neste estudo foi possível implementar dados de uma simulação real em uma simulação computacional, a fim de verificar a probabilidade de detecção dos sinais fotoluminescentes em local de grande público. Desta forma, foi possível observar que estes sinais podem apresentar uma baixa capacidade de detecção conforme determinadas prescrições de instalação, porém quando visualizados, influenciam positivamente na escolha da rota correta de saída.

Embora as simulações tenham sido diferentes, para a simulação computacional, observou-se a necessidade de aumentar a capacidade de visibilidade dos sinais fotoluminescentes por meio da altura das letras dos sinais, para que os mesmos tornassem mais eficientes em sua informação. Nas simulações computacionais, tornou-se evidente o uso das rotas mais próximas, ou familiares quando os sinais não são totalmente perceptíveis. Porém, ao visualizarem os sinais e interpretarem corretamente as informações, contribuindo com a orientação correta das saídas, reduzindo o tempo de evacuação.

#### **3.2.4. Estudo 04: Estudo de sinalização dinâmica por Galea, Xie e Lawrence (2014)**

Usando como referência os estudos anteriores realizados por XIE *et al.* (2012), no qual apenas 38% das pessoas conseguiram perceber as sinalizações de emergência, estudos experimentais sobre sinalização dinâmica, apresentado por

Galea, Xie e Lawrence (2014), estão sendo realizados para aumentar a capacidade de percepção dos mesmos pelos indivíduos. Trata-se de introduzir à sinalização fotoluminescente, um sistema de luz intermitente na indicação direcional do sinal, controlados por um sistema computacional inteligente chamado *Decision Engine* (DE), que utiliza dados de simulações reais de evacuação implementados paralelamente pelo software de simulação *building* EXODUS, capazes de detectar a saída mais apropriada em tempo real (Figura 18).

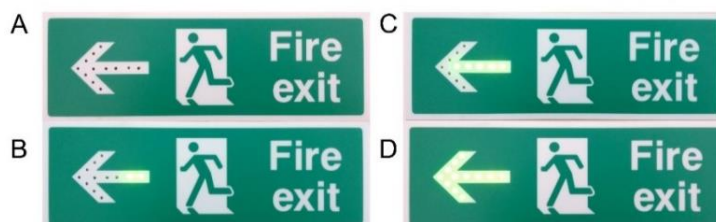
Neste estudo também foram avaliados os sinais dinâmicos para informação de que uma rota de fuga, não era mais segura. As direções das rotas consideradas potencialmente perigosas eram identificadas pela mesma sinalização convencional, ativadas pelo sistema dinâmico, porém com sinais de proibição acrescidos às informações dos sinais. Os detalhes de como a interação dos sinais de negação ocorrem podem ser observados em Galea, Xie e Lawrence (2014).

Os objetivos dessas novas simulações foram os seguintes: determinar a probabilidade que os ocupantes não familiarizados com o local tinham de perceber os sinais, interpretar as informações, avaliar o nível de melhoria quanto a visibilidade dos sinais dinâmicos em relação aos sinais fotoluminescentes e verificar se o novo desenho de sinalização causaria algum desconforto na sua interpretação.

Para isso, foi realizada uma simulação real no mesmo edifício Queen Anne, na Universidade de Greenwich, em Londres (Figura 19). Cinquenta e três indivíduos (respostas válidas) participaram das simulações. Todos eles não familiarizados com o local, com idade entre 18 e 70 anos sendo 28 homens e 25 mulheres, destros, com visão normal e capazes de se movimentar de forma independente. Todos foram instruídos a evacuar o prédio, o mais rápido possível, porém sem correr, imediatamente após o alarme de incêndio. No entanto, não foram instruídos a utilizarem os sistemas de sinalização.

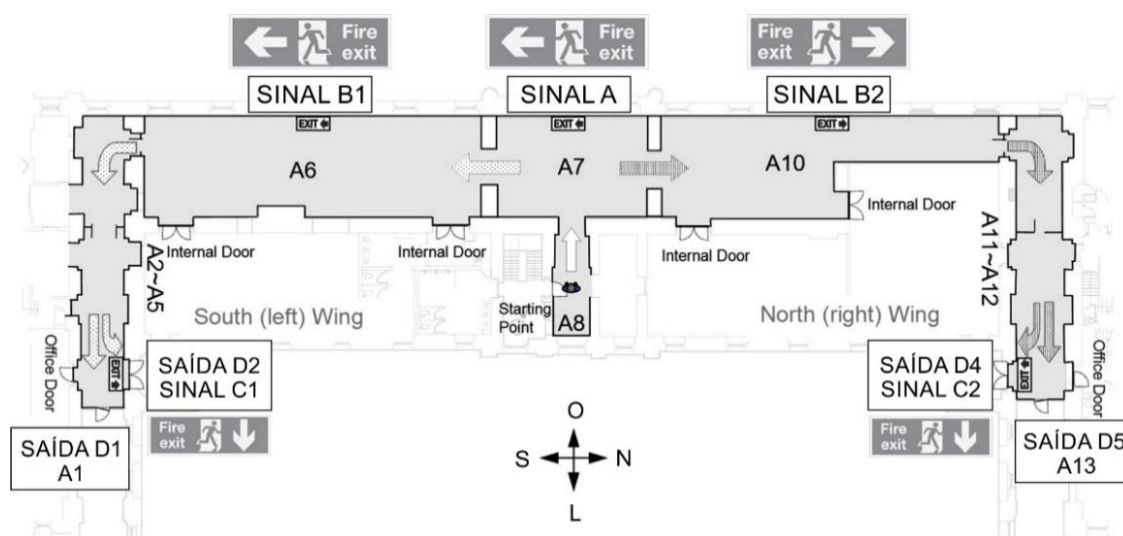
O percurso contou com 3 pontos de decisão (A6 e A10; A2 e A11; A5 e A12), todos partindo do ponto inicial A8 (Figura 19). As sinalizações utilizadas foram do tipo dinâmica com dimensões de 0,30 x 0,10m, posicionados a 2,20m do piso segundos as prescrições da norma britânica BS 5499-4:2000 (BS, 2000), todos instalados em boas condições de iluminação.

Figura 18 - Sinalização de emergência dinâmica.



Fonte: Galea, Xie e Lawrence, 2014.

Figura 19 - Planta do Edifício Queen Anne.



Fonte: Galea, Xie e Lawrence, 2014.

Os resultados foram obtidos por meio filmagens, entrevistas e questionários sobre familiaridade do local, percurso pré-selecionado, condições do ambiente, configuração arquitetônica e presença de sinalização. Os dados obtidos foram assim analisados:

Ponto decisão 1 (A7) – sinal A: dentre os 53 participantes, 41 pessoas perceberam o sinal e todos seguiram as informações. Porém, 12 pessoas afirmaram não ter percebido nenhum sinal. Dentre esses, 6 escolheram a rota da esquerda (A6) e 6 da direita (A10). Deste modo, pode-se observar que os sinais dinâmicos são mais perceptivos que os fotoluminescentes, se comparados ao estudo anterior, no qual apenas 38% das pessoas viram a sinalização (Xie *et al.*, 2012).

Ponto decisão 2 (A6 e A10) – sinais B1 e B2: em ambos os corredores havia portas internas às salas, que podem ter influenciado na percepção das saídas, já que os sinais estavam instalados longitudinalmente nos corredores, ou seja, a visibilidade dos sinais não era de forma direta, como o sinal A. Nesses pontos, 38 indivíduos perceberam os sinais, totalizando 72% de todos os participantes. Mesmo sendo mais difíceis de identificar, os sinais dinâmicos foram mais eficientes do que os fotoluminescentes.

Ponto de decisão 3 (A2 e A12) – sinais C1 e C2: nesse ponto, duas saídas ao final de cada percurso estão disponíveis, uma à frente e outra longitudinalmente em ambos os corredores, sendo essa a de saída de emergência (Figura 19). A porta no corredor da esquerda era de vidro opaco, já as demais eram de madeira. Na rota da direita, as portas eram de madeira. A aparência das portas pode ter influenciado na escolha das saídas, não sendo possível comparar os resultados. Os resultados desse ponto de decisão estão representado na Tabela 14.

Tabela 14- Resultados nos pontos de decisão A12 e A2.

| Pessoas/<br>Ponto decisão         | Sinal            | Nº de<br>pessoas | Nº de<br>pessoas | Escolha da<br>saída |
|-----------------------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|
| <b>6 pessoas no ponto<br/>A12</b> | Não visualizaram | 4                | 2                | D5                  |
|                                   |                  |                  | 2                | D4                  |
|                                   | Visualizaram     | 2                | 0                | D5                  |
|                                   |                  |                  | 2                | D4                  |
| <b>47 pessoas no ponto<br/>A2</b> | Não visualizaram | 23               | 18               | D1                  |
|                                   |                  |                  | 5                | D2                  |
|                                   | Visualizaram     | 24               | 3                | D1                  |
|                                   |                  |                  | 21               | D2                  |

Fonte: Galea, Xie e Lawrence, 2014.

Portanto, a taxa de detecção dos sinais no ponto A2 (esquerda) foi de 51%. Em comparação ao estudo de Xie *et al.* (2012), a taxa de percepção para os sinais fotoluminescentes no mesmo local foi de 39%. Dos 24 indivíduos que perceberam os sinais, 21 foram para a saída de emergência.

Além de validar a detectabilidade do sinal dinâmico, o tempo de decisão desses indivíduos foi menor, reduzindo conseqüentemente o tempo total de evacuação. O tempo médio de decisão para as pessoas que viram os sinais foi de 1,8 segundos. Já para as pessoas que não visualizaram os sinais foi de 5,7 segundos. Os sinais

fotoluminescentes apresentaram um tempo maior de decisão, cerca de 44% (Xie *et al.*, 2012).

Por fim, pode-se concluir que os sinais dinâmicos apresentaram maior detecção pelos participantes que os fotoluminescentes, principalmente para as pessoas que não conhecem o local. As luzes nos sinais contribuíram para aumentar a capacidade de visibilidade dos mesmos, reduzindo os tempos de decisão, conseqüentemente, otimizando o tempo total de evacuação. Salienta-se, no enteando, que os estudos de Xie *et al.* (2012) e Galea, Xie e Lawrence (2014) foram realizados sob a condição de um único indivíduo durante a evacuação, ou seja, o tempo de evacuação e a eficácia da sinalização perante o grupo não foi avaliado. Esse sistema de sinalização dinâmico será utilizado em estudos futuros, para simulações reais em estações ferroviárias.

Embora as sinalizações dinâmicas não sejam o foco da presente pesquisa, por meio deste estudo, pôde-se observar que aumentando a capacidade de visibilidade dos sinais fotoluminescentes com um sistema de luzes intermitentes, contribuiu para aumentar a percepção dos mesmos pelas pessoas, em comparação ao estudo anterior de Xie *et al.* (2012). Além disso, proporcionou a redução do tempo de tomada de decisões em relação a perceber e seguir as orientações dos sinais, favorecendo a redução do tempo total de evacuação.

### **3.2.5. Estudo 05: Avaliação do impacto da fumaça na visibilidade dos sinais fotoluminescentes por Xie (2011)**

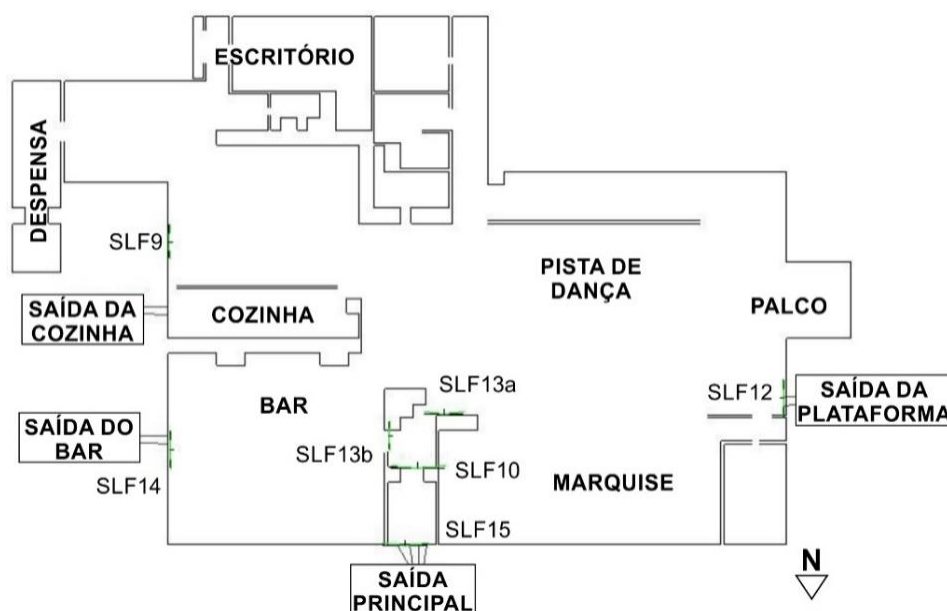
Por fim, Xie (2011) avaliou o impacto da fumaça na visibilidade dos sinais fotoluminescentes em comparação aos sinais de balizamento, em um ambiente complexo por meio do *software building* EXODUS. O estudo teve como base uma situação de incêndio real, ocorrido na casa noturna The Station nos Estados Unidos, em 2003, quando teve por objetivo avaliar a visibilidade dos sinais instalados na edificação. Não foram avaliadas a probabilidade de percepção, nem ações de resposta aos mesmos. Os parâmetros de ofuscamento dos sinais causados pela fumaça precedem de um estudo realizado por Galea *et al.* (2008), no qual avaliaram por meio da simulação computacional, a propagação das chamas e a toxicidade da



fumaça em uma reconstrução do incêndio na casa noturna The Station, realizados no *software* SMARTFIRE.

A edificação de apenas um pavimento era composta por diferentes ambientes como bar, pista de dança, banheiros, cozinha, escritório, entre outros, de dimensões de 32,8 metros de largura e 20,9 metros de profundidade, totalizando uma área de movimentação permitida de 412 m<sup>2</sup> (Figura 20). A casa noturna possuía 4 saídas, uma principal e três saídas alternativas de emergência, porém, na situação real, a maioria das pessoas saiu pelo acesso principal, sendo esse o percurso familiar, localizado ao norte da edificação.

Figura 20 - Modelo da casa noturna The Station.



Fonte: Xie, 2011.

Com base na perícia realizada no local, o sistema de sinalização era considerado insuficiente, devido ao formato e ao desenho da edificação (GROSSHANDLER *et al.*, 2005). O tamanho dos sinais não foi indicado, supõe-se então, que os mesmos estavam de acordo com o USA's Building Construction and Safety Code, ou seja, Código de Segurança e Construção Civil dos EUA (Xie, 2011, tradução nossa). Considerou-se, assim, que os mesmos possuíam uma distância

mínima de visibilidade de 30,48 metros. Na Tabela 15, estão descritas as possíveis sinalizações da edificação:

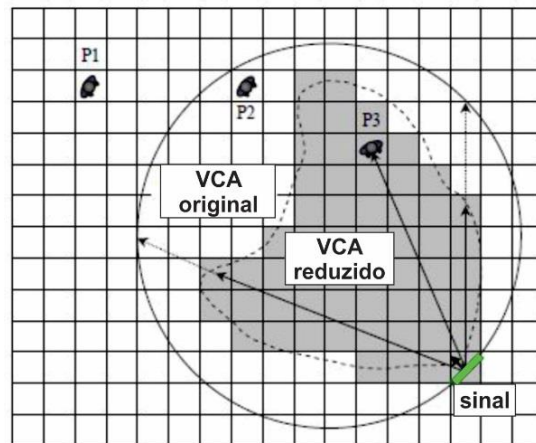
Tabela 15 - Descrição das sinalizações da casa norutna The Station.

| <b>Sinais</b>      | <b>Local</b>   | <b>Iluminação</b> |
|--------------------|--|-------------------|
| <b>SLF 9</b>       | Sinal de saída, supostamente apontando para a porta da cozinha.  | Desconhecido      |
| <b>SLF 10</b>      | Sinal de saída acima da porta com direção à área da bilheteria.  | Não               |
| <b>SLF 11</b>      | Sinal de saída acima da porta  | Sim               |
| <b>SLF 12</b>      | Sinal de saída acima da porta, similar ao SLF 11.  | Não               |
| <b>SLF 13 a/ b</b> | Dois sinais de saída, um na área do piso indicando a bilheteria, outro acima da porta indicando a mesma direção. | Sim               |
| <b>SLF 14</b>      | Sinal de saída sobre a porta.  | Sim               |
| <b>SLF 15</b>      | Sinal de saída acima da porta principal.   | Desconhecido      |

Fonte: Xie, 2011.

A partir disso, foram estabelecidos três cenários: no primeiro, nenhum sinal era de balizamento; no segundo, todos os sinais são de balizamento; o terceiro cenário foi baseado no relatório no NIST (GROSSHANDLER *et al.*, 2005), conforme a Tabela 15, adotando SLF 9 e SLF 15 como sinais de balizamento. Para todos, foi estabelecido que a iluminação de emergência estava presente para que os sinais fotoluminescentes funcionassem. Além disso, uma área de visibilidade dos sinais foi estabelecida conforme a Figura 21. O formato irregular representa o impacto causado pela interferência da fumaça no campo de visibilidade dos mesmos.

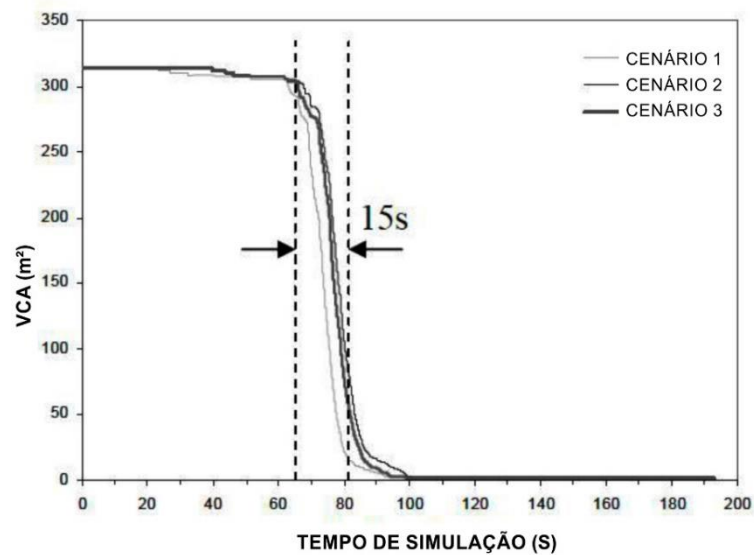
Figura 21 - Área de visibilidade dos sinais na fumaça.



Fonte: Xie, 2011.

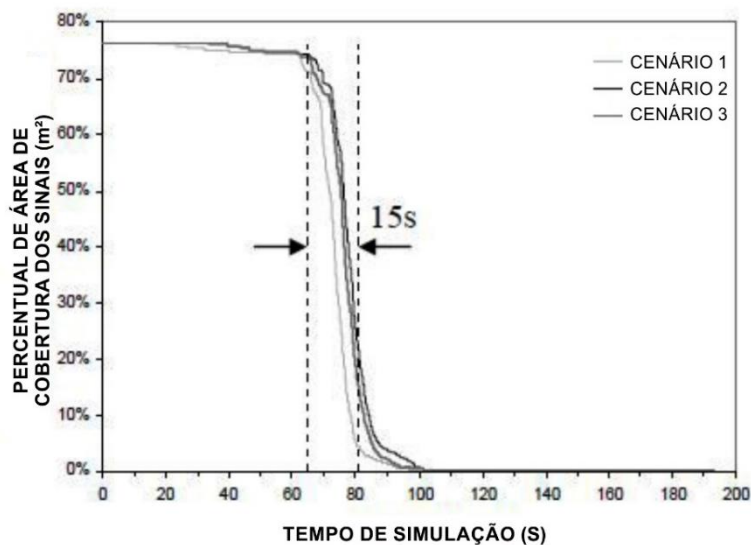
Os resultados das simulações foram representados por meio de gráficos da Figura 22 e pela Figura 23.

Figura 22 - Área total de cobertura dos sete sinais.



Fonte: Xie, 2011.

Figura 23 - Percentual de cobertura dos sinais.

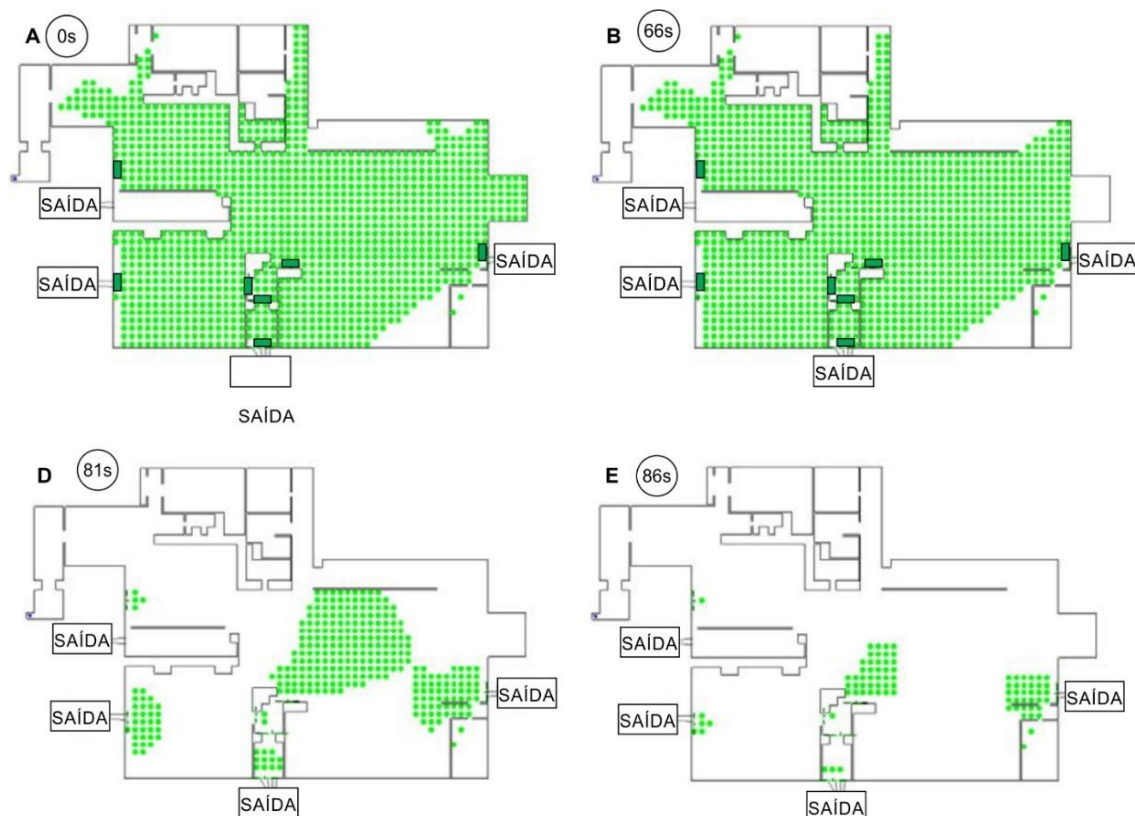


Fonte: Xie, 2011.

A Figura 23 mostra que, inicialmente, os sinais cobriam uma área de visibilidade de 3.135,5m<sup>2</sup>, e que o percentual de abrangência foi cerca de 76,1% de toda a área da edificação. Após 15 a 20 segundos, a fumaça reduz significativamente a área de cobertura dos mesmos, principalmente no cenário 1 que corresponde aos sinais fotoluminescentes.

No cenário 2, onde os sinais são de balizamento, a redução da área de visibilidade é mais lenta em 5 segundos, se comparado ao cenário 1 onde os sinais são fotoluminescentes e, de 3 a 4 segundos em média, se comparado ao cenário 3. Com base nos sinais do cenário 3 (Figura 24), do início da simulação até os primeiros 66 segundos (Figura 24 A e B), os sinais ainda cobriam praticamente toda a área da edificação, correspondendo a cerca de 70% da área de visibilidade. A partir disso, percebeu-se, nos segundos seguintes, que a área de visibilidade dos sinais reduziu consideravelmente. Após os tempos de 81 segundos (Figura 24 D) e 86 segundos, os sinais perdem significativamente sua efetividade, chegando a cobrir somente 5% de toda a área (Figura 24 E), permanecendo obscurecidos até o final da simulação.

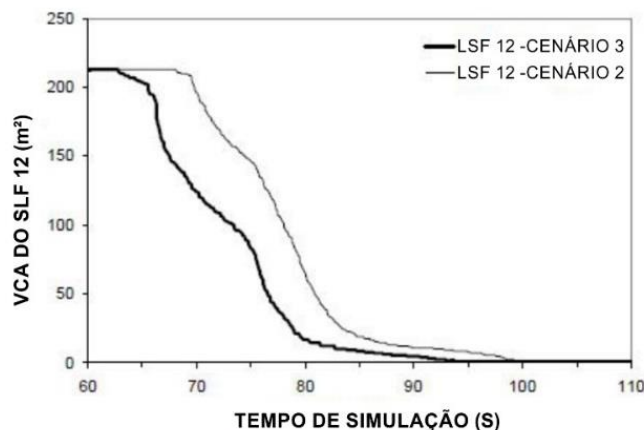
Figura 24 - Área de cobertura das sinalizações no cenário 3 (tempos de 0s à 86s).



Fonte: Xie, 2011.

Com base na Figura 24, evidenciou-se o sinal LSF 12 de saída de emergência alternativa, localizado na lateral direita do modelo. No cenário 2, esse sinal é de balizamento; porém, no cenário 3, o mesmo é fotoluminescente. Com base na Figura 25, pode-se perceber que o mesmo sinal, quando iluminado (balizamento) apresenta uma redução da área de visibilidade mais lenta do que quando o sinal não é iluminado (fotoluminescente), considerando um tempo maior de visibilidade para os sinais de balizamento.

Figura 25 - Área de visibilidade em relação ao tempo de simulação.



Fonte: Xie, 2011.

Portanto, pode-se concluir que os sinais de balizamento dispõem de um tempo maior para serem vistos e compreendidos do que os sinais fotoluminescentes. Sendo assim, se a iluminação do ambiente e a iluminação de emergência não forem favoráveis às condições de evacuação, os sinais de balizamento possuem uma capacidade de visibilidade superior aos sinais fotoluminescentes, fornecendo as informações necessárias em condições severas de incêndio (XIE, 2011).

### 3.2.6. Estudo 06: Simulação computacional de evacuação em casa noturna por Silva, Scholl e Adamatti (2017)

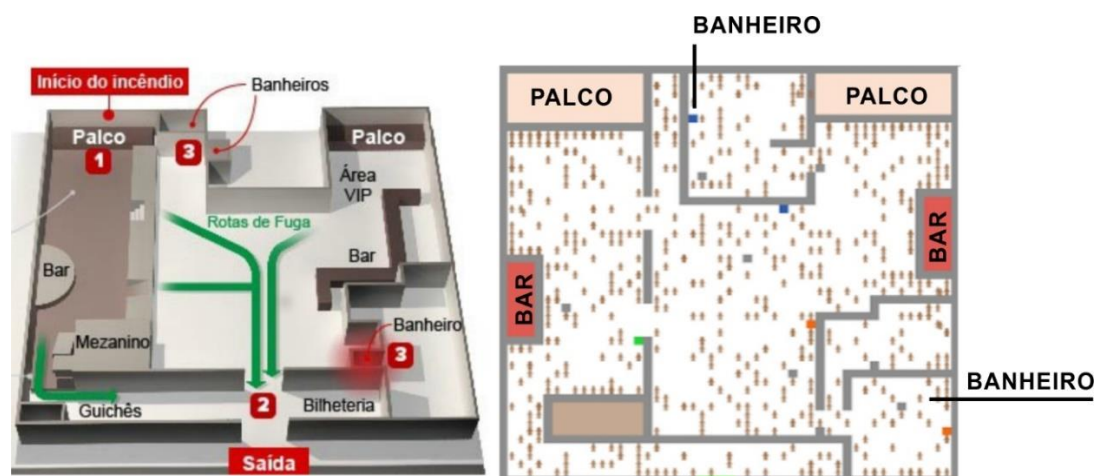
Com a proposta de ratificar importância do cumprimento das determinações normativas da ABNT NBR 9077: 2001 (ABNT, 2001), referente às saídas de emergência em edifícios durante o processo de evacuação Silva, Scholl e Adamatti (2017) utilizaram a simulação computacional por meio do *software* NetLogo versão 5.3.1, para representar o caso de incêndio ocorrido na casa noturna Boate Kiss, no Brasil. A modelagem multiagente foi utilizada como ferramenta das simulações (WOOLDRIDGE e JENNINGS, 1995), a qual permite que dois ou mais agentes interajam para realizarem uma tarefa ou um objetivo.

O pânico foi implementado como fator emocional para o comportamento dos agentes, sendo representado pela interação entre os agentes, no qual os mesmos passam a ter o comportamento dos agentes próximos. Esse fator está diretamente ligado ao planejamento de segurança das edificações, que pode interferir no processo de evacuação.

Para o modelo, foram utilizados os três constituintes do programa: as *turtles* que correspondem aos agentes que se movem no ambiente, os *patches* que formam a grade bidimensional do modelo e o *observer* que contempla o modelo em si (*turtles* + *patches*). A área da casa noturna, estabelecida no PPCI, era de 615 m<sup>2</sup>, conforme também descrito no Relatório Final da Polícia Militar (ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2013), e a capacidade máxima de público segundo a NBR 9077 (ABNT, 2001), era de 691 pessoas. Assim, o modelo foi recriado e adaptado às condições do programa que estava sendo utilizado.

Assumiu-se, então, que a boate teria dimensões de largura e comprimento de 24,8 metros, equivalendo a 24,85 *patches* conforme a grade bidimensional, com área total de 615,05m<sup>2</sup> *patches*. Já a saída de emergência que correspondia a 2,5 metros, equivaleu a 3 *patches*. A planta baixa, conforme mostra a Figura 26, representa os espaços principais com base na situação real. Sinais luminosos foram instalados nos banheiros, remetendo a situação real das vítimas. Para um cenário de superlotação, foram utilizados 1.200 agentes (*turtles*).

Figura 26 - Ofuscamento do sinal SLF 12 em relação ao tempo de simulação.



Fonte: Silva, Scholl e Adamatti (2017).

Em relação às simulações, foram criadas duas situações, a primeira foi o “NBR OFF”, em que o modelo não estaria de acordo com as prescrições. Além disso, na situação real, houve um atraso na abertura da porta, que foi representado no modelo, por uma parede que permaneceu bloqueando a saída por 20% do tempo médio da evacuação. Na segunda, foi criada a “NBR ON”, que corresponde a um modelo em conformidade com a norma ABNT NBR 9077 (ABNT, 2001), ou seja, com duas saídas de emergência localizadas em paredes opostas, de dimensões adequadas à capacidade dos ocupantes, além de avisos luminosos e indicativos nas saídas de emergência. Os agentes foram configurados de duas formas: pessoas em pânico e pessoas que caminham normalmente pelo cenário, mas que ao verem outras pessoas em situação de pânico, acabam adotando esse mesmo comportamento.

A partir disso, estabeleceram-se os seguintes cenários: o primeiro é cenário realístico “NBR OFF” que corresponde situação real, contendo apenas um acesso de entrada e saída da casa noturna, com uma população de 1.200 agentes e com sinais de balizamento instalados nos banheiros. O segundo corresponde a uma variação do primeiro, porém utiliza as determinações da ABNT NBR 9077 (ABNT, 2001) para as duas saídas de emergência, denominado cenário realístico “NBR ON”. O terceiro cenário teve por objetivo representar uma situação mais próxima do ideal “NBR ON”, utilizando as medidas determinadas pela ABNT NBR 9077:2001 (ABNT, 2001), que prescreve o uso de mais de uma saída de emergência, simulada com 3m de largura para uma população máxima permitida de 691 pessoas. Aqui as sinalizações foram instaladas de modo a favorecer a orientação das rotas de fuga até as saídas de emergência, tendo como referência a norma ABNT NBR 10898 (ABNT, 2013). Por fim, o último cenário apresenta a variação do anterior, mantendo a iluminação indicada nos banheiros, porém, com apenas uma saída de emergência com largura de 3m, remetendo a situações reais (“NBR OFF”). Cada cenário foi simulado 10 vezes e os tempos médios de evacuação são descritos na Tabela 16:



Tabela 16 - Resultados das simulações para os 4 cenários.

| <b>Cenários</b>                  | <b>Pessoas no modelo</b> | <b>Tempo de evacuação (s)</b> | <b>Pessoas presas</b> | <b>Tempo de pânico (s)</b> |
|----------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>Cenário realístico NBR ON</b> | 1.200                    | 341,76                        | 0                     | 96,66                      |
| <b>Cenário realístico NBR OF</b> | 1.200                    | 500                           | 389                   | 96,66                      |
| <b>Cenário “ideal” NBR ON</b>    | 691                      | 229,16                        | 3,5                   | 121,33                     |
| <b>Cenário “ideal” NBR OF</b>    | 691                      | 152                           | 235                   | 200,60                     |

Fonte: Silva, Scholl e Adamatti (2017).

Conclui-se que, mesmo com cenários próximos ao ideal, as pessoas podem ficar presas nos locais, devido aos agentes estarem mais distantes de outras pessoas e demorarem mais tempo para observar uma situação de pânico, até que a fumaça esteja dissipada no ambiente, o que difere do cenário realístico “NBR ON”, onde a proximidade dos agentes, adotando o mesmo comportamento de pânico, contribuiu para a evacuação total das pessoas. Já nos cenários com menor número de pessoas, a resposta do tempo de reação ao incêndio foi maior, demorando mais para atuarem em situação de pânico, por estarem mais afastados uns dos outros (SILVA, SCHOLL e ADAMATTI, 2017).

Em relação à aplicação das sinalizações, em conjunto com as dimensões corretas das saídas de emergência, as mesmas podem contribuir bastante na orientação das pessoas até as saídas, contribuindo com a redução no tempo de evacuação e número de vítimas. Além disso, as sinalizações podem auxiliar no controle das emoções, proporcionando mais segurança em situações de emergência (SILVA, SCHOLL e ADAMATTI, 2017).

Para que um processo de evacuação seja eficiente, é necessário que os sistemas de segurança projetados estejam em conformidade com as normas do local, além da conformidade quanto as exigências da população máxima permitida. Deste modo, observou-se que o dimensionamento correto das saídas de emergência agregados a um sistema de sinalização eficiente, interferem no tempo total de evacuação. Além disso, pôde-se observar que em um local de grande público, a proximidade das pessoas pode interferir nos tempos de reação das ações ocorridas

no local, e que as sinalizações proporcionam maior segurança para as pessoas com relação a orientação correta das rotas de fuga.

### **3.2.7. Estudo 07: Simulação real aferidos ao tempo de uma simulação computacional por Cassol (2016)**

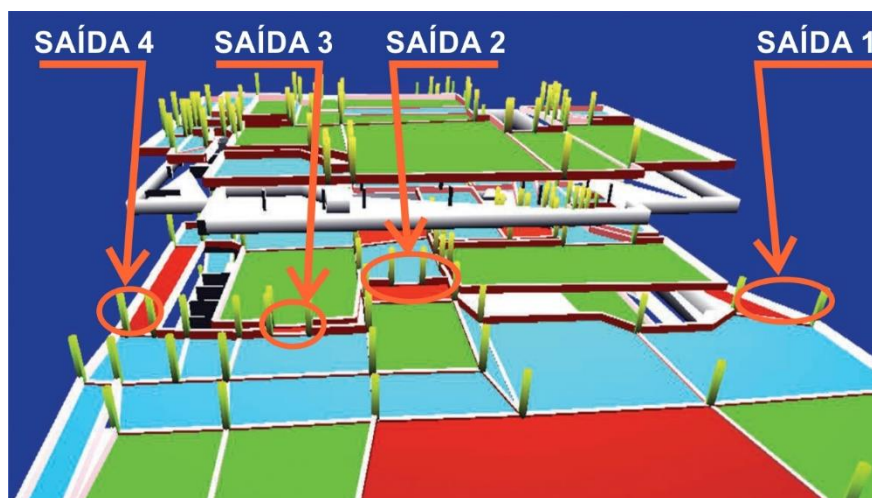
Cassol (2016) estudou o comportamento humano em um processo de simulação de evacuação real, com objetivo de obter dados quantitativos para implementação no modelo de uma simulação computacional. A simulação real foi realizada em uma casa noturna, localizada na cidade de Porto Alegre, Brasil, solicitada pelos proprietários com apoio de uma empresa de segurança, a fim de estabelecer os melhores planos de evacuação para o local.

A casa noturna, anteriormente de uso residencial, foi adaptada para uma edificação de uso comercial, composta basicamente por três pavimentos como: subsolo, térreo com mezanino e segundo pavimento, havendo 4 saídas de emergência, uma no subsolo e as demais no pavimento térreo (Figura 27). A simulação real foi realizada às 2 horas da manhã e contou com a participação de 240 voluntários.

Para a simulação computacional, a edificação foi reproduzida tridimensionalmente, nas quais foram definidas as áreas e regiões pontuais onde o movimento dos agentes era permitido. Ao ser implementado no *software CrowdSim*, foram então elaborados e testados diferentes planos de evacuação com rotas de fuga alternativas, afim de estimar o menor percurso e, conseqüentemente o menor tempo de evacuação. O *software* foi configurado para que os agentes utilizassem as saídas mais próximas conforme sua posição no modelo. A partir disso, a empresa de segurança também utilizou-se do *software*, gerando 3 possíveis planos de evacuação com as 4 saídas de emergência disponíveis.

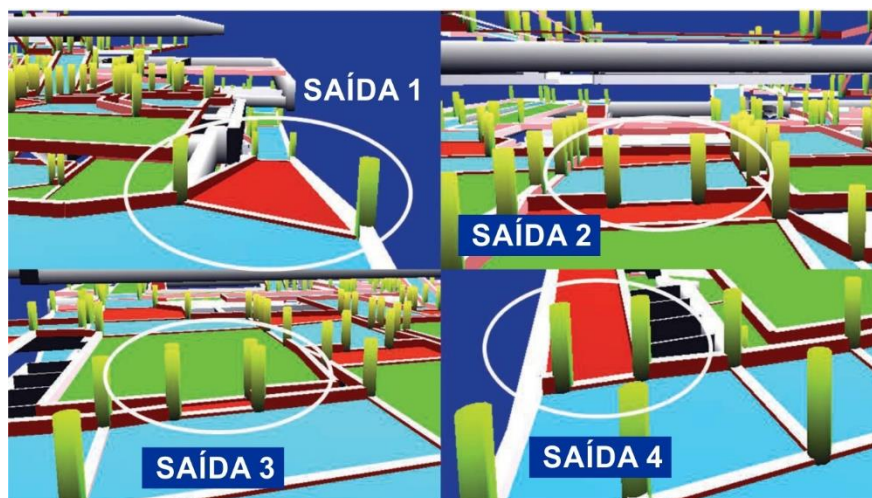
No modelo as dimensões das saídas de emergência são respectivamente: saída 1 – 1,77 metros; saída 2 – 1,10 metros; saída 3 – 1,14 metros e saída 4 – 1,01 metros conforme a Figura 28. Os dados da simulação computacional obtidos pela empresa de segurança estão representados na Tabela 17.

Figura 27 - Indicação das saídas de emergência no software *CrowdSim*.



Fonte: Cassol *et al.* (2017).

Figura 28 - Representação ampliada das 4 saídas de emergência.



Fonte: Cassol *et al.* (2017).

Tabela 17 - Tempos de evacuação obtidos no estudo de simulação utilizando o *software CrowdSim*.

| <b>Dados</b>                          | <b>Simulação 1</b>       | <b>Simulação 2</b>       | <b>Simulação 3</b>       |
|---------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <b>Plano evacuação</b>                | Plano de evacuação<br>1  | Plano de evacuação<br>2  | Plano de evacuação<br>3  |
| <b>Tempo (s)</b>                      | 1.3581                   | 1.3654                   | 1.3953                   |
| <b>Velocidade máxima</b>              | 1.3                      | 1.2                      | 1.3                      |
| <b>Local de aglomeração</b>           | Escada (2º<br>pavimento) | Escada (2º<br>pavimento) | Escada (2º<br>pavimento) |
| <b>Nº de pessoas pela saída<br/>1</b> | 54                       | 18                       | 21                       |
| <b>Nº de pessoas pela saída<br/>2</b> | 12                       | 41                       | 50                       |
| <b>Nº de pessoas pela saída<br/>3</b> | 80                       | 126                      | 75                       |
| <b>Nº de pessoas pela saída<br/>4</b> | 100                      | 61                       | 100                      |

Fonte: Cassol (2016).

O plano de evacuação 1 foi selecionado e utilizado na simulação real, na qual os funcionários casa noturna foram treinados para orientar a população durante a simulação. O número de pessoas, por pavimento, foi obtido por meio da tecnologia de infravermelho, sendo que a maioria delas estava no segundo pavimento. Todas as pessoas concordaram em iniciar a simulação as 2 horas da manhã, obtendo os seguintes resultados (Tabela 18).

Tabela 18 - Dados da simulação computacional e real.

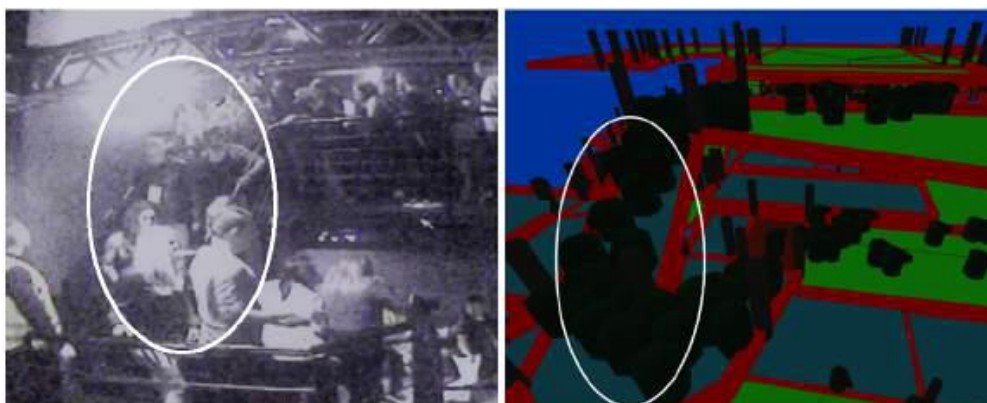
| <b>Fatores</b>                          | <b>Simulação<br/>Computacional</b> | <b>Simulação Real</b> |
|---|------------------------------------|-----------------------|
| <b>Tempo total de<br/>evacuação (s)</b> | 119                                | 175                   |
| <b>Maior velocidade (m/s)</b>           | 1.3                                | 1.5                   |
| <b>Menor velocidade (m/s)</b>           | 0.1                                | 0.2                   |
| <b>Local de aglomeração</b>             | Escada (2º pavimento)              | Escada (2º pavimento) |

Fonte: Cassol (2016).

Por fim, o tempo de evacuação computacional foi menor do que o tempo de evacuação real. Foi possível identificar, também, que em uma das escadas que liga o segundo pavimento ao térreo, gerou um ponto de aglomeração logo nos primeiros 40 segundos de simulação real. O mesmo congestionamento ocorreu, também, na simulação computacional, no mesmo período de tempo (Figura 29). Além disso, as

áreas dos ambientes que antecedem às saídas de emergências possuem dimensões diferentes, o que pôde ter influenciado nos tempos finais de evacuação.

Figura 29 - Comparação do congestionamento ocorrido na simulação real em comparação à simulação computacional.

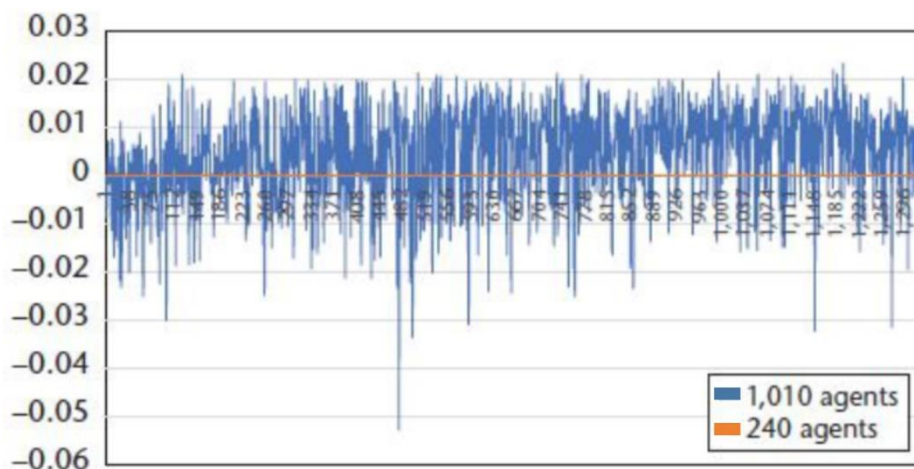


Fonte: Cassol (2016).

De fato, a condução dos usuários até as saídas pode ter interferido no tempo total de evacuação. Além disso, as pessoas que participaram da simulação real não estavam em situação de emergência ou pânico, além de respeitarem o espaço uns dos outros, negligenciando pontos de aglomeração que foram observados nas simulações computacionais

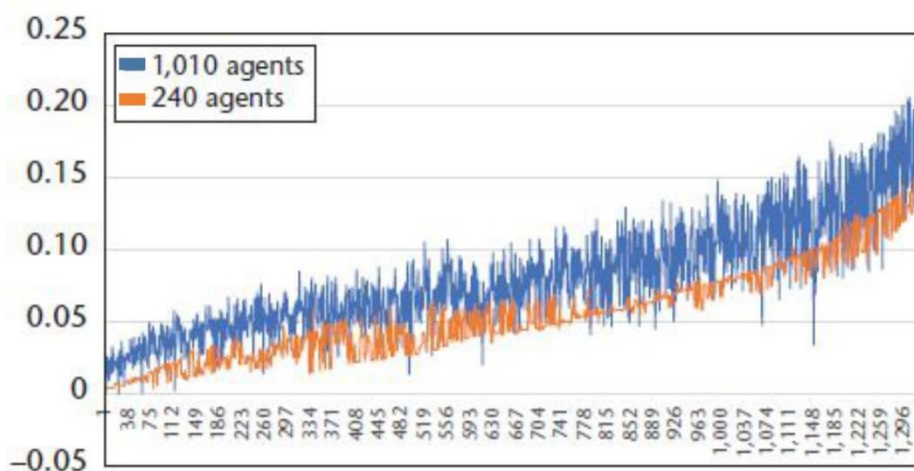
Um segundo cenário de simulação foi realizado com 1.010 agentes, o que representaria a lotação máxima da boate, considerando 1 pessoa/m<sup>2</sup>. As simulações geraram 1.331 possíveis planos de evacuação para o local. Somado ao estudo anterior realizado com 240 pessoas, foram realizadas 2.662 simulações a fim de investigar qual o melhor plano de evacuação para o local. Os principais resultados foram apresentados por meio de gráficos, onde foi possível comparar a velocidade média dos agentes (Figura 30) e a média do tempo de evacuação (Figura 31) de cada cenário.

Figura 30 – Comparação entre as velocidades de movimento dos agentes.



Fonte: Cassol *et al.* (2017).

Figura 31 - Comparação entre os tempos e evacuação dos agentes.



Fonte: Cassol *et al.* (2017).

A variação da velocidade para o cenário de 240 pessoas foi menor e praticamente constante do que a variação da velocidade para um cenário lotado (Figura 30), no qual as pessoas tinham menos espaço pra circularem. Já o tempo de evacuação (Figura 31) foi maior no cenário com mais agentes, devido à aglomeração de pessoas em um mesmo ponto como representado na Figura 29, comprometendo o tempo total da evacuação (CASSOL, 2016).

Por fim, pôde-se perceber que a capacidade máxima do local deve ser utilizada para a elaboração dos planos de evacuação. Contudo, para fins de comparação de resultados, em relação a cenários de simulação computacional e simulações reais, é interessante que sejam utilizados os mesmos números de pessoas/agentes, de modo que os resultados tornem-se mais precisos e comparáveis, principalmente quanto à implementação de novos condicionantes de avaliação (CASSOL, 2016).

Embora neste estudo não foram consideradas as sinalizações de emergência, a comparação entre uma simulação real e uma simulação computacional permitiu identificar os parâmetros relevantes a serem considerados em uma evacuação de grande público, dentre elas, o dimensionamento das rotas de fuga, que podem interferir no tempo total de evacuação. Os resultados das simulações computacionais podem contribuir na elaboração dos planos de evacuação, estabelecendo rotas alternativas, das quais permitem estimar uma média de tempo para a evacuação total do local.

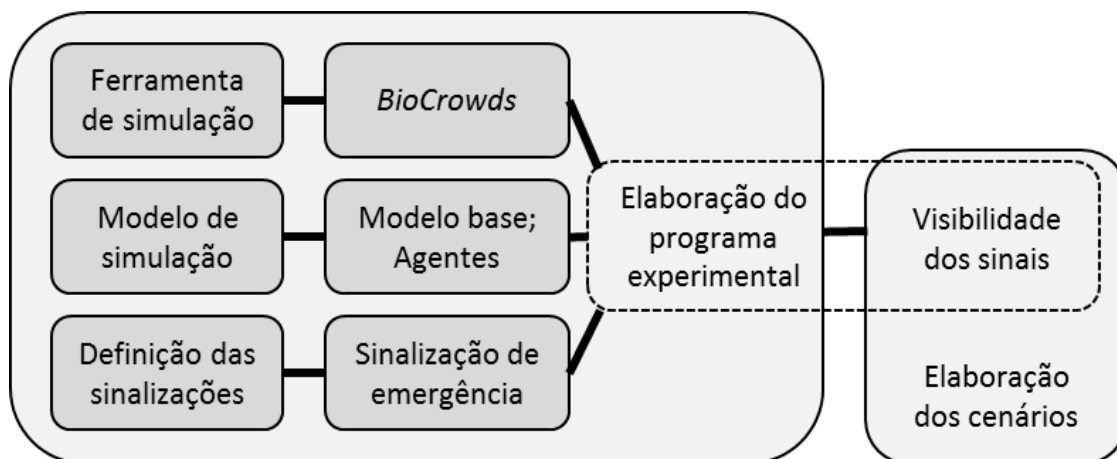
Assim, o modelo de casa noturna utilizado por Cassol, (2016) serviu de base para a elaboração do modelo de simulação da presente pesquisa. Além disso, optou-se por utilizar o mesmo número de agentes da simulação real. Desse modo, foi possível comparar, por meio das simulações computacionais, a real influência das sinalizações em um processo de evacuação, em relação ao tempo de evacuação aferido em ambos estudos. As informações quanto ao modelo de simulação adaptado para o *software BioCrowds*, bem como as configurações para as avaliações dos sistemas de sinalização, serão descritas no Capítulo 4, a seguir.

## Capítulo 4

# MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia proposta para esta pesquisa está descrita, de forma geral, conforme a Figura 32. Primeiramente serão feitas as definições da ferramenta de simulação, a descrição do modelo base e agentes, definição das sinalizações que serão utilizados para a elaboração do estudo experimental, além da definição dos cenários a serem avaliados.

Figura 32 - Etapas da metodologia.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No próximo capítulo, serão apresentados os resultados dos cenários e as conclusões deste estudo.



## 4.1. FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO

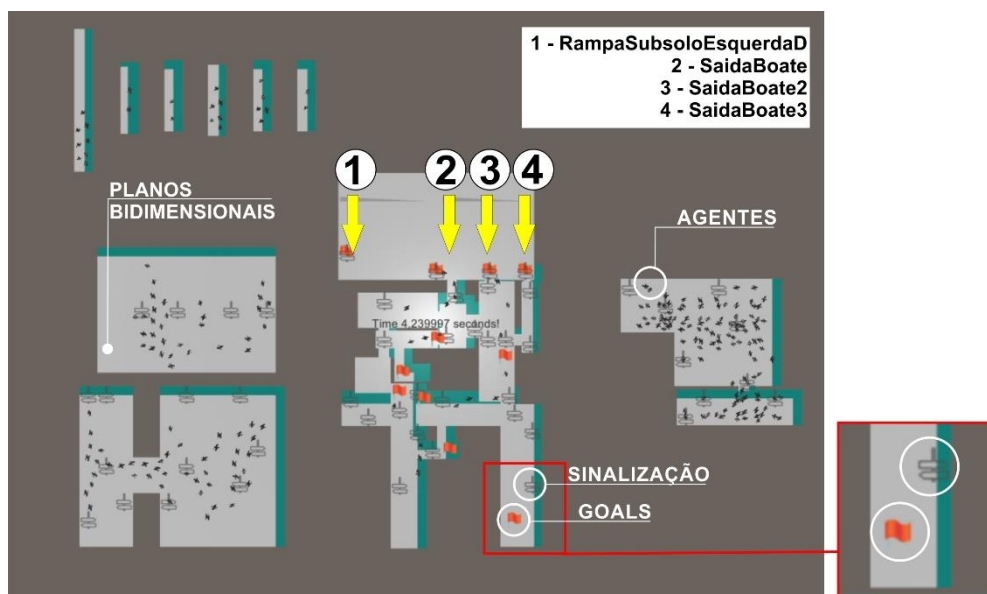
As simulações foram realizadas no software *BioCrowds* agregado à plataforma de desenvolvimento 3D, *Unity Hub* versão 2019, o qual foi escolhido por ser uma ferramenta de livre acesso e desenvolvida no Brasil, de fácil instalação e interpretação. A preocupação com a realidade dos movimentos e do comportamento dos indivíduos na multidão foram determinantes para a escolha do programa, possibilitando verificar as reais interações, reações e tomadas de decisões frente às sinalizações de emergência durante o processo de evacuação.

O programa não possui uma configuração determinística, sendo assim, cada simulação de um determinado cenário fornecerá resultados diferentes. Essa condição permite que sejam avaliadas as reais interação dos agentes frente aos condicionantes inseridos (sinais), porém são necessárias repetições do mesmo cenário.

A modelagem da edificação é representada por planos bidimensionais, compostos por células numéricas de 2 metros x 2 metros, que definem os pavimentos e as áreas onde o movimento dos agentes é permitido (Figura 33). Um dos principais elementos inseridos no modelo são os *goals*, representados por 11 bandeiras laranjas (marcadores) distribuídas no pavimento térreo (Figura 33). Os *goals* indicam as saídas de emergência e os acessos de escadas e rampas. Os mesmos são representados pelas descrições junto à célula em que estão inseridos, conforme a Figura 34.

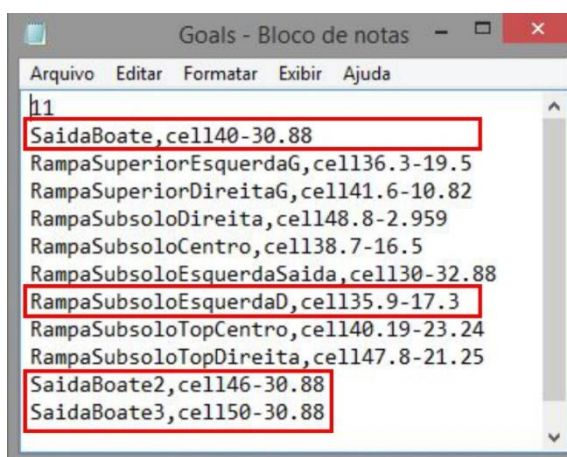
Os *goals*, que representam as saídas de emergência, estão enumerados conforme a Figura 33 e denominados segundo destaques da Figura 34. Quando esses são acessados pelos agentes, finalizam o tempo de evacuação. Os demais indicam os “pontos de acesso” às circulações verticais, ou seja, os acessos de escada, subida ou descida, no pavimento térreo. As sinalizações de emergência, representadas pelas placas de contorno preto conforme Figura 33, serão descritas nos itens seguintes, bem como a descrição do modelo da casa noturna.

Figura 33 - Identificação dos elementos do modelo de simulação numéricos para as simulações.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 34 - Descrição dos *goals* e células de inserção.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O modelo foi configurado para permitir a interação dos agentes com as sinalizações. As interações dos agentes com os sinais são feitas por meio dos valores de *appeal*, ou seja, um nível de atração, como por exemplo, tamanho, clareza, etc., bem como um conjunto de metas localizadas no ambiente (MATHEW *et al.*, 2019). Neste trabalho, os valores de *appeal* correspondem a capacidade de visibilidade dos sinais, equivalentes aos valores de luminância de cada sistema de sinalização. Já o

conjunto de metas, correspondem às direções dos acessos verticais e saídas de emergência das rotas de fuga. Essas e outras informações serão melhores descritas nos itens que seguem. Os detalhes de como essas interações acontecem estão descritas no trabalho de Mathew *et al.* (MATHEW *et al.*, 2019).

Conforme Bicho (2009), as características de pré-movimento não são consideradas para essas simulações. Dessa forma, o processo de evacuação inicia no momento em que o *software* é acionado.

## 4.2. MODELO DE SIMULAÇÃO

Para a implementação dos sistemas de sinalizações, sendo esse o foco desta pesquisa, foi necessário, primeiramente, uma análise do modelo da edificação. Esse modelo teve como base uma edificação existente e as plantas baixas originais foram adquiridas com o auxílio dos registros de imagens cedidos pela Prefeitura Municipal de Porto Alegre (RS), Brasil. Observou-se que a edificação de três pavimentos, antes residencial, passou por diversas reformas para atender às necessidades da nova ocupação. Os últimos registros das alterações datam do ano de 2008, conforme as áreas apresentadas na Tabela 19 (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 200-?).

Tabela 19 - Descrição da edificação.

| Pavimento                | Áreas descritas nos documentos da prefeitura (m <sup>2</sup> ) | Áreas obtidas por meio dos levantamentos em planta baixa (m <sup>2</sup> )* | Altura do pé-direito (m) |
|--------------------------|--|---|--------------------------|
| <b>Subsolo</b>           | 680,25   | 627   | 2,62 à 2,76              |
| <b>Térreo</b>            | 398,58   | 564   | 3,10 à 3,49              |
| <b>Segundo Pavimento</b> | 274,42   | 447   | 2,64 à 4,30              |
| <b>Total</b>             | 1.353,25   | 1.638   | -                        |

\*Resolução Técnica Nº 11- Parte 01 (ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2016c).

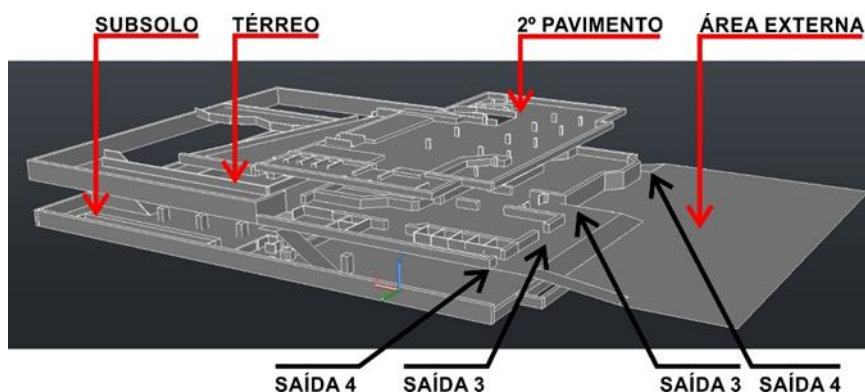
Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nas áreas descritas na Tabela 19, pôde-se observar que nos documentos da prefeitura, apenas as áreas ocupáveis dos pavimentos foram consideradas, ou seja, não foram computadas as áreas vazadas dos mezaninos.

Porém, para os projetos de prevenção contra incêndio devemos considerar todas as áreas cobertas da edificação, conforme determinam as legislações.

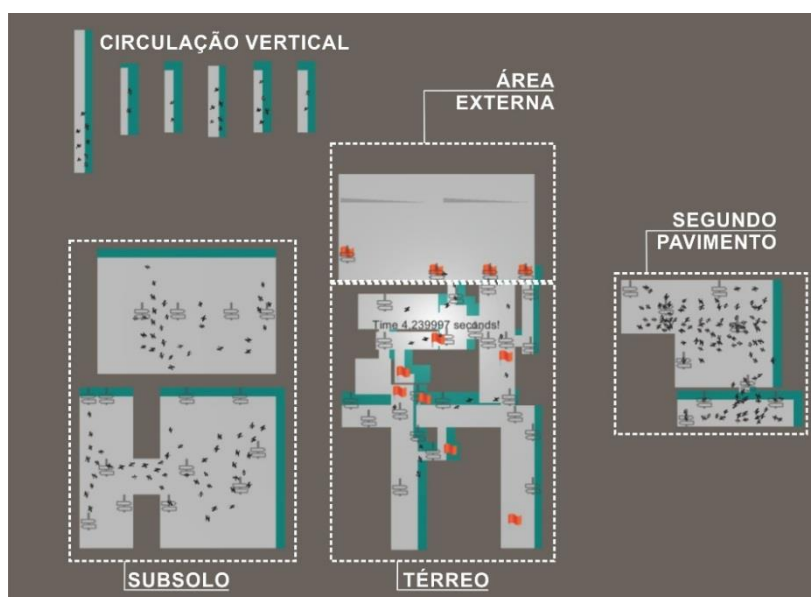
No entanto, no modelo estudado por Cassol (2016), estão presentes as últimas modificações feitas em relação ao *layout* da edificação, conforme a Figura 35. A partir desse modelo, foi elaborada uma grade bidimensional numérica para importação no *software* de simulação *BioCrowds*. Assim, os pavimentos do subsolo, térreo com mezanino e segundo pavimento, estão representados respectivamente da esquerda para direita, e os traços verticais no canto superior esquerdo da figura, representam as escadas e rampas conforme Figura 36.

Figura 35 - Modelo tridimensional em CAD da Boate Santa Mônica.



Fonte: Modelo adaptado de Cassol (2016).

Figura 36 - Modelo planificado *BioCrowds*.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, o modelo de simulação foi composto por 400 células no total, sendo 66 para a parte externa da edificação e 334 na parte interna do modelo divididas da seguinte forma: 164 células no subsolo, 110 células no pavimento térreo e 60 células no pavimento superior. Cada célula possui 2m x 2m que corresponde a uma área de 4 m<sup>2</sup>, totalizando 1.336 m<sup>2</sup> de área interna, onde o movimento dos agentes é permitido, além de 264m<sup>2</sup> de área externa. A representação gráfica das células pode ser melhor compreendida no Apêndice B deste documento, onde também estão representadas as sinalizações que serão descritas nos itens abaixo.

### **4.3. DESCRIÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO**

Como parte das análises de segurança contra incêndio para estes locais, o dimensionamento correto das saídas de emergência, bem como escadas e rampas que fazem parte da rota de fuga, são fundamentais para a eficiência do processo de evacuação. Desse modo, foi feita uma análise do modelo simulado a fim de verificar a conformidade das exigências de segurança implementadas. As áreas do projeto real da edificação também foram inseridos como comparativo das análises de segurança.

O dimensionamento das saídas de emergência é calculado de acordo com a capacidade máxima de pessoas para o local. Com base na Tabela 1, apresentada nos anexos da norma brasileira ABNT NBR 9077 (ABNT, 2001), referente às saídas de emergência, as salas noturnas classificam-se conforme sua ocupação, na divisão F-6, referente a locais de reunião de público.

No Rio Grande do Sul, a execução de projetos de segurança contra incêndio para edificações seguem os critérios estabelecidos na Resolução Técnica Nº 11 - Parte 01 (ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2016c). Contudo, ambas consideram para o cálculo da capacidade máxima, 2 pessoas por metro quadrado para as áreas de público. No entanto, para as áreas de apoio e cozinha, considera-se 1 pessoa a cada 7 metros quadrados e, para as áreas de palco, calcula-se 1 pessoa por metro quadrado. Não são computadas as áreas destinadas aos sanitários e circulações verticais.

Os planos bidimensionais do modelo de simulação correspondem a todas as áreas onde o movimento dos agentes é permitido, incluindo as áreas não computáveis. Deste modo, para o cálculo de população máxima do modelo foram consideradas: 132 (de 164) células no subsolo, 92 (de 110) células no térreo e 49 (de 60) no segundo pavimento. As demais, equivalentes aos sanitários e circulações verticais, não foram computadas.

Considerando que cada célula possui dimensão de 2,0 m x 2,0 m, e uma área total de 4,0 metros quadrados, as medidas das áreas dos sanitários, bares, cozinha e palco foram aproximadas às medidas da edificação, respeitando a população máxima destes ambientes. Deste modo, pode-se observar uma variação de público do modelo simulado para com a edificação real conforme a Tabela 20.

Tabela 20 - Relação entre as áreas e a população máxima permitida da casa noturna Santa Mônica em Porto Alegre (RS), Brasil e, do modelo de simulação.

| Pavimento                | Edificação existente  |   |                          | Modelo de simulação          |   |                          |
|--------------------------|---|---|--------------------------|------------------------------|---|--------------------------|
|                          | Áreas obtidas por meio dos levantamentos em planta baixa (m <sup>2</sup> )* | Área para cálculo da população (RT N° 11) | N° de Pessoas (RT N° 11) | Área total (m <sup>2</sup> ) | Área para cálculo da população (RT N° 11) | N° de Pessoas (RT N° 11) |
| <b>Subsolo</b>           | 627   | 499                                       | 930                      | 656                          | 528                                       | 940                      |
| <b>Térreo + mezanino</b> | 564   | 335                                       | 501                      | 440                          | 368                                       | 527                      |
| <b>Segundo Pavimento</b> | 447   | 199                                       | 362                      | 240                          | 196                                       | 322                      |
| <b>Total</b>             | 1.638   | 1.033                                     | 1.793                    | 1.336                        | 1.092                                     | 1.789                    |

Fonte: ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL (2016c) e PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE (200-?).

As exigências quanto às dimensões das saídas de emergência para esse modelo de simulação, estabelecidas de acordo com a RT N° 11 (ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2016c), estão na Tabela 21.

Tabela 21 - Largura das saídas de emergência do modelo simulado em relação à edificação.

|                 | População máxima | Unidades de passagem | Largura total para saídas de emergência (m) – RT N° 11 |
|-----------------|------------------|----------------------|--|
| Edificação      | 1.793            | 18*                  | 9,90   |
| Modelo simulado | 1.789            | 18*                  | 9,90   |

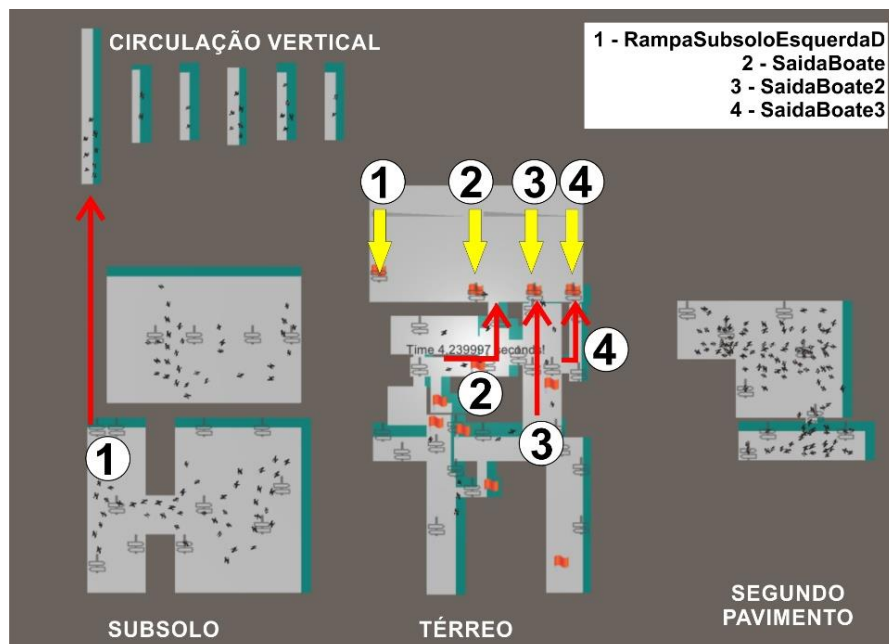
\*Cada unidade de passagem corresponde a 0,55m de largura.

Fonte: ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL (2016c).

Portanto, seriam necessários 9,90 m de largura para as saídas de emergência. Conforme a Resolução Técnica Nº 11- Parte 01, para as casas noturnas, são exigidas, no mínimo, 2 saídas, com largura mínima de 1,10m cada uma (ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2016c).

Na Figura 37, estão representadas as quatro rotas de fuga, das quatro saídas de emergência, de acordo com o modelo de referência utilizado por Cassol (2016). A primeira liga o subsolo ao pavimento térreo por meio de uma rampa. As demais (2, 3 e 4) estão localizadas diretamente no pavimento térreo de descarga.

Figura 37 - Modelo de evacuação *BioCrowds* a para casa noturna Santa Mônica.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As plantas baixas da edificação não apresentavam claramente as dimensões das quatro saídas de emergência, sendo estimadas de acordo com a escala do projeto (Anexo A). Em comparação com o modelo de simulação, as saídas de emergência correspondem a 1 célula, de dimensões 2,0 m x 2,0 m cada, conforme a Tabela 22.

Tabela 22 - Relação das larguras das saídas de emergência da casa noturna Santa Mônica e do modelo de simulação.

| Saídas de emergência | Largura das saídas de emergência da edificação (m) | Largura das saídas de emergência do modelo simulado (m) |
|----------------------|--|---|
| Saída 1              | 1,10*  | 2   |
| Saída 2              | 1,10   | 2   |
| Saída 3              | 1,10   | 2   |
| Saída 4              | 0,90*  | 2   |
| <b>Largura Total</b> | <b>4,20</b>  | <b>8</b>  |

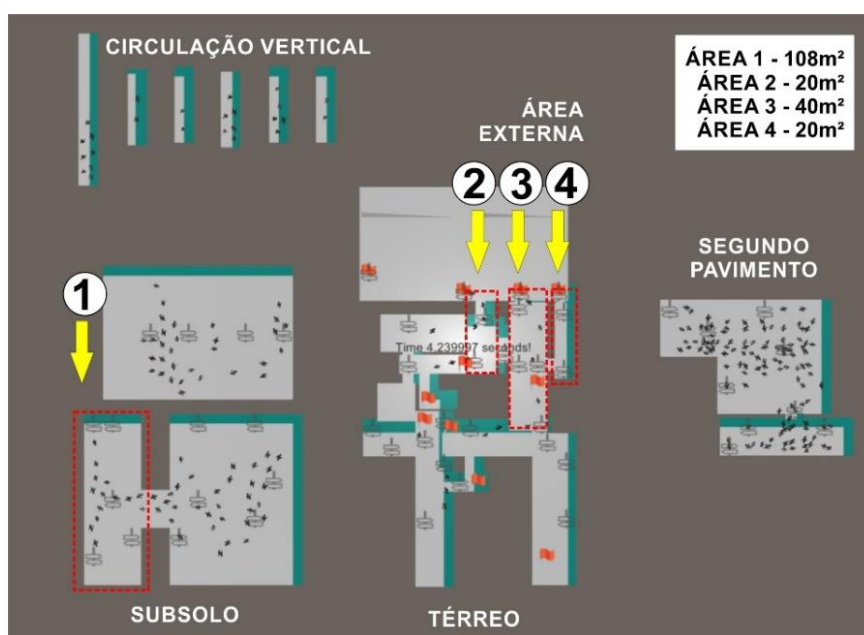
\*Medida estimada.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, no que se refere às saídas de emergência, observa-se existe uma grande diferença entre as exigências prescritas pela RT N° 11 (ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2016c) e o que foi simulado. Mesmo o modelo representando uma condição mais favorável do que as medidas apresentadas na situação real, destaca-se ainda assim não atendem ao exigido na legislação, pois, totalizam apenas 14 unidades de passagem e não as 18 unidades de passagem necessárias por norma.

No entanto, as áreas que antecedem as saídas de emergência possuem dimensões diferentes, conforme indicadas na Figura 38. As diferenças dessas áreas, podem causar aglomeração de pessoas, principalmente nas saídas de emergência 2 e 4, sendo essas as mais estreitas.

Figura 38 - Áreas que antecedem as saídas de emergência.

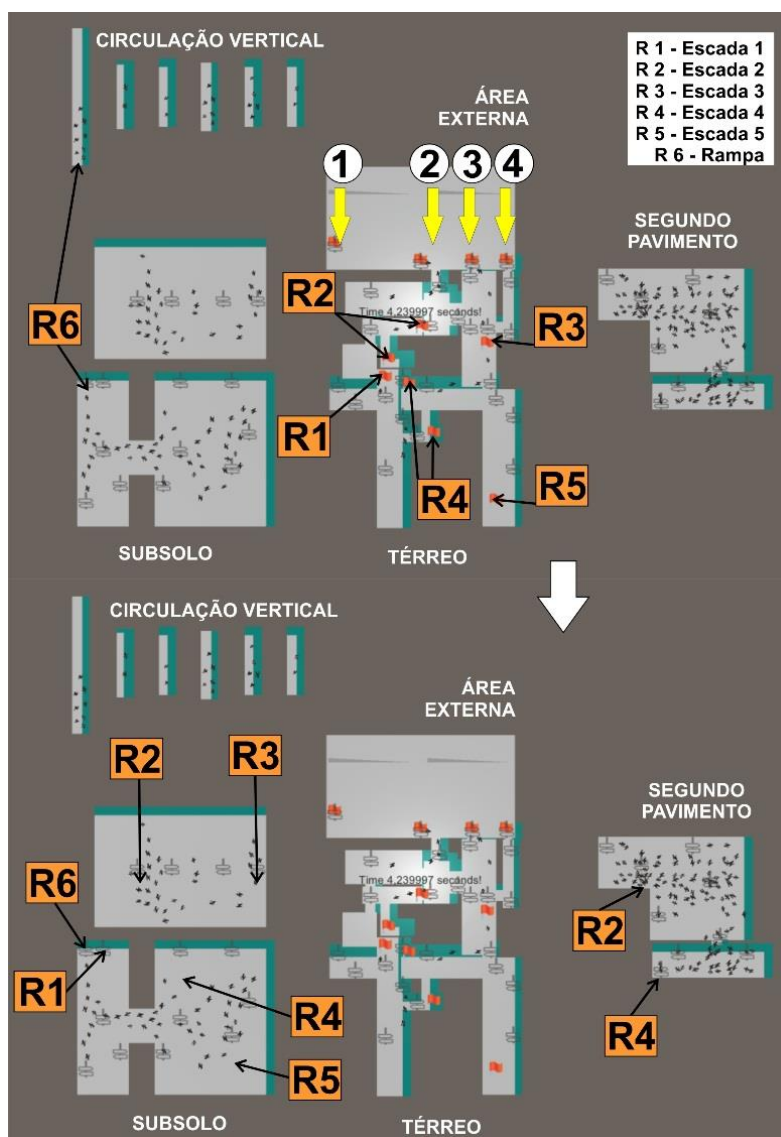


Fonte: Elaborado pelo autor.



Os acessos verticais como as escadas e rampas também podem interferir no tempo de evacuação, gerando pontos de aglomeração e congestionamento. Na Figura 39, estão representados os 6 acessos verticais do modelo, sendo 1 rampa e 5 escadas correspondentes às plantas da edificação, que fazem parte da rota de fuga dos pavimentos. Porém, no modelo de simulação, todos os acessos verticais são denominados como rampas (R1 à R6).

Figura 39 - Acessos verticais de escadas e rampas do modelo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O dimensionamento dos acessos verticais também é feito com base na Tabela 1 da RT Nº 11 (ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2016c). A largura mínima para cada rampa ou escada é de 1,10m (ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2016c).

No modelo, cada acesso de rampa ou escada é representado por uma célula de 2 m x 2 m, em todo o percurso. Já as medidas reais dos acessos de verticais da edificação foram obtidas por meio do somatório das larguras das escadas e rampas apresentadas na planta baixa (Apêndice A). A comparação das dimensões de escadas e rampas do modelo, em relação às dimensões reais da edificação, estão representadas na Tabela 23.

Tabela 23 - Relação entre as larguras das escadas e rampas.

|                            | População máxima | Pavimentos        | Unidades de passagem | Largura total para escadas e rampas (m) RT Nº 11 | Larguras reais das escadas e rampas (m) |
|----------------------------|------------------|-------------------|----------------------|--|---|
| <b>Edificação</b>          | 1.793            | Subsolo           | 10                   | 5,50   | 5,56*                                   |
|                            |                  | Térreo+mezanino   | 6                    | 3,30   | 5,45*                                   |
|                            |                  | Segundo Pavimento | 4                    | 2,20   | 2,12*                                   |
| <b>Modelo de simulação</b> | 1.789            | Subsolo           | 10                   | 5,50   | 10                                      |
|                            |                  | Térreo+mezanino   | 6                    | 3,30   | 8                                       |
|                            |                  | Segundo Pavimento | 4                    | 2,20   | 4                                       |

\*Medidas estimadas em planta.

Fonte: ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL (2016c).

Observa-se que as exigências estabelecidas pelas normas quanto a largura dos acessos verticais estão, em sua maioria, em conformidade com as medidas implementadas. Porém, novamente o modelo de simulação apresenta uma situação mais favorável às medidas de segurança em relação às dimensões reais da edificação.

Portanto, para que os agentes consigam identificar os acessos verticais e as saídas de emergência, são necessárias as instalações dos sistemas de sinalização de emergência. Essas definições estão descritas no item abaixo.

#### 4.4. AGENTES DA SIMULAÇÃO

Após as configurações do modelo de simulação e dos sistemas de sinalização, foi necessário definir e configurar a quantidade de indivíduos para a interação. Primeiramente, os agentes recebem um conjunto de metas como, por exemplo, atingir as saídas de emergência, pelo caminho mais curto conforme sua posição no modelo. Porém, esse processo dependerá da orientação dos sinais de emergência, que mesmo com a influência dos sinais, podem alterar sua rota inicial em detrimento desse caminho mais curto. As informações sobre os cálculos de como são estabelecidos os caminhos mais curtos podem ser encontradas no trabalho de Mathew *et al.* (MATHEW *et al.*, 2019).

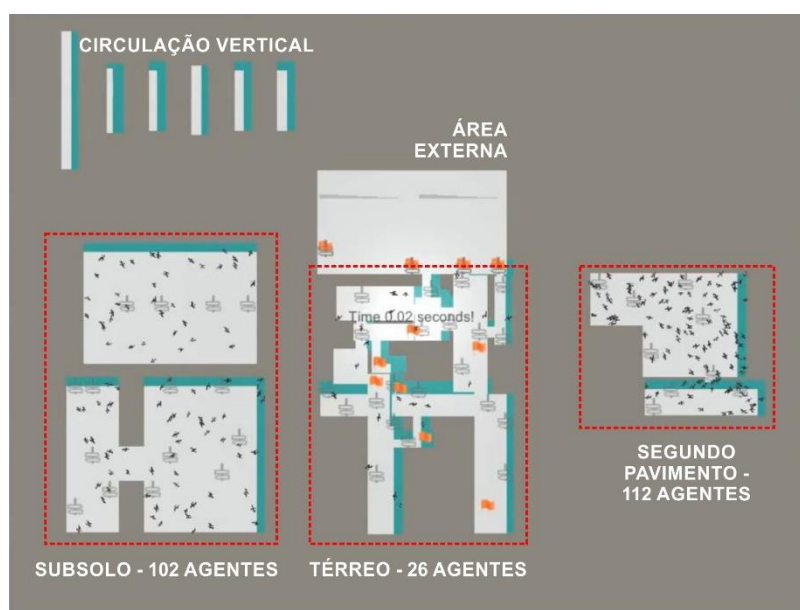
Dessa forma, os indivíduos começam a simulação sem o conhecimento da localização de seus objetivos finais, ou seja, as saídas de emergência. Assim, precisam descobrir essa localização por meio das sinalizações, as quais indicam o caminho a seguir. Para isso, é necessário que os mesmos percebam o conjunto de placas distribuídas pelo cenário, que podem ser percebidas a um raio de distância prescrito, nesse caso, pelas normas. Cada agente é capaz de perceber todas as placas ao seu redor desde que estejam dentro de um raio de visibilidade das mesmas. Ao perceber essas sinalizações, o agente aumenta a intenção de se locomover para o objetivo determinado pelo sinal (MATHEW *et al.*, 2019). Esse processo também envolve um comportamento exploratório, no qual os agentes podem, ou não, adotar o comportamento dos indivíduos próximos a eles, a fim de atingirem os mesmos objetivos (MATHEW *et al.*, 2019).

Desse modo, é estabelecido que os agentes não são familiarizados com o local, ou seja, não possuem o conhecimento do local das saídas de emergência. Sendo assim, os mesmos precisam perceber os sinais de acordo com a capacidade de visibilidade dos mesmos, luminância e distância/raio de visibilidade, a fim de reagirem, ou não, de acordo às informações, para que sejam conduzidos até as saídas.

Foram utilizados 240 agentes para o modelo simulado. Esse número se refere ao número de pessoas que participaram da simulação real, e implementados no estudo de Cassol (2016), conforme descrito no Capítulo 3. O mesmo número de pessoas/agentes possibilitará avaliar a real influência das sinalizações em comparação aos tempos de evacuação. A distribuição dos agentes foi estabelecida

com base no escaneamento de infravermelho realizado na simulação real, ficando: 102 agentes no subsolo, 112 no segundo pavimento, e 26 no térreo conforme Figura 40.

Figura 40 – Distribuição dos agentes no modelo.



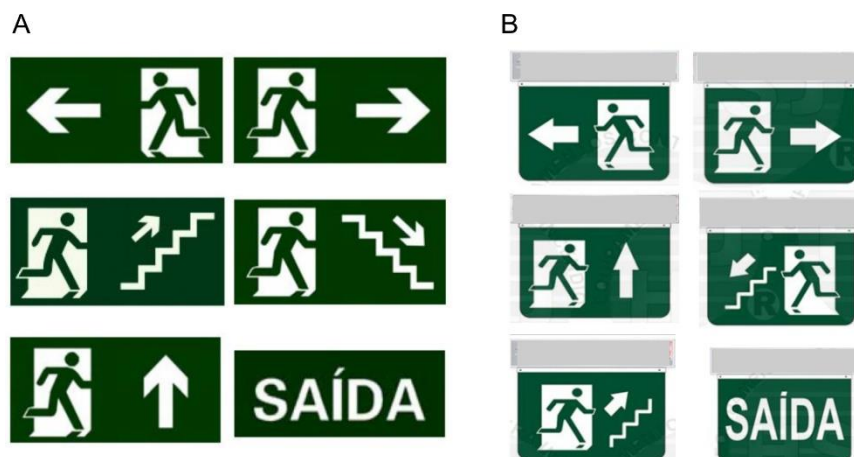
Fonte: Elaborado pelo autor.

Além disso, para o movimento dos agentes, considerou-se que todos estão em caso de evacuação de incêndio, determinada como situação de pânico. Desse modo, a velocidade máxima de caminhada foi de 1,5m/s, conforme descritos nos estudos de Filippidis *et al.* (2006) e Xie *et al.* (2012), no Capítulo 3.

#### 4.5. DEFINIÇÃO DAS SINALIZAÇÕES

Conforme as determinações da RT nº 5 – Parte 1.1 (ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2016a), as sinalizações fotoluminescentes serão implementadas com base nas determinações das normativas da ABNT NBR 13.434 partes 1, 2 e 3 (ABNT, 2004a, 2004b, 2018). Já as sinalizações de balizamento serão instaladas de acordo com a ABNT NBR 10898 (ABNT, 2013). A presente pesquisa restringe-se às sinalizações de orientação e salvamento para as rotas de fuga, conforme a Figura 41.

Figura 41 - Sinalizações de emergência do estudo. Figura A são os sinais fotoluminescentes. Figura B os sinais de balizamento.



Fonte: ABNT NBR 13.434-2 (2004b) e ABNT NBR 10898 (2013).

De modo geral, cada sinal inserido no modelo possui dimensão de 0,15 m x 0,30 m, conforme as determinações mínimas da RT 5 – Parte 1.1 (ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2016a), que corresponde a uma distância equivalente de visibilidade de 9 metros, conforme Tabela 1 da ABNT NBR 13434-2 (ABNT, 2004b). Os mesmos foram inseridos no modelo simulado, considerando algumas das características estruturais da planta da edificação (Apêndice A), como por exemplo a posição das escadas. Além disso, foram instalados conforme a distância máxima permitida entre os sinais, a cada mudança de direção, nas saídas de emergência e nas indicações dos acessos verticais, conforme determinações da ABNT NBR 13434 Partes 1, 2 e 3 (ABNT, 2004a, 2004b, 2018).




No total, foram 46 sinais emergência inseridos no modelo por meio das informações direcionais, nas células correspondentes exemplificadas conforme Tabela 24. As informações direcionais são inseridas segundo a meta final a ser atingida, ou seja, cada placa poderá indicar uma ou mais direção, conforme sua posição no modelo, seja da saída de emergência mais próxima ou dos acessos de circulação vertical, que o agente deverá percorrer para atingir a meta final, de acordo com a Figura 25. A tabela completa dos sinais associados às grades numéricas, informações direcionais e raio de visibilidade está disposta no Apêndice B deste documento.

Tabela 24 - Exemplo de inserção das placas.

| <b>Células</b>        | <b>Sentido da Placa –<br/>informação direcional</b> | <b>Distância de<br/>visibilidade (m)</b> |
|-----------------------|---|--|
| <b>cell1-17</b>       | RampaSubsoloEsquerdaSaida                           | 9  |
| <b>cell10-5</b>       | RampaSubsoloCentro                                  | 9  |
| <b>cell18-7</b>       | RampaSubsoloDireita                                 | 9  |
| <b>cell7-26.5</b>     | RampaSubsoloTopCentro                               | 9  |
| <b>cell48.8-0.959</b> | SaidaBoate2   | 9  |
| <b>cell35.9-15.3</b>  | SaidaBoate  | 9  |
| <b>cell50.55-22.7</b> | SaidaBoate3   | 9  |
| <b>cell78-16.6</b>    | RampaSuperiorDireitaG                               | 9  |
| <b>cell73.7-25</b>    | RampaSuperiorEsquerdaG                              | 9  |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 25 - Sinais associados às informações direcionais.

| <b>Sinal</b>  | <b>Informação direcional<br/>(ABNT, 2004b)</b>                          | <b>Sentido da placa para<br/>instalação no modelo –<br/>informação direcional</b>   |
|---|---|---|
|   | Sentido da saída de emergência<br>Direita ou esquerda                   | SaidaBoate1<br>SaidaBoate2<br>SaidaBoate3<br>RampaSubsoloEsquerdaSaida  |
|  | Saída de emergência a ser fixada<br>acima da porta                      | SaidaBoate1<br>SaidaBoate2<br>SaidaBoate3<br>RampaSubsoloEsquerdaSaida  |
|  | Sentido da rota de fuga.<br>Direita ou esquerda, subindo ou<br>descendo | RampaSubsoloEsquerdaSaida<br>RampaSubsoloCentro<br>RampaSubsoloTopCentro<br>RampaSuperiorDireitaG<br>RampaSuperiorEsquerdaG<br>RampaSubsoloTopDireita |
|  | Indicação da saída de<br>emergência                                     | SaidaBoate1<br>SaidaBoate2<br>SaidaBoate3<br>RampaSubsoloEsquerdaSaida  |

Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com a posição os sinais no modelo, obteve-se uma área de cobertura total de visibilidade, conforme as Figuras 42, 43 e 44.

Figura 42 - Área de cobertura dos sinais no subsolo.

|  |          |            |            |            |            |             |             |             |             |             |             |           |           |  |  |  |  |
|--|----------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|-----------|--|--|--|--|
|  |          | cell3-32.5 | cell5-32.5 | cell7-32.5 | cell9-32.5 | cell11-32.5 | cell13-32.5 | cell15-32.5 | cell17-32.5 | cell19-32.5 | cell21-32.5 |           |           |  |  |  |  |
|  |          | cell3-30.5 | cell5-30.5 | cell7-30.5 | cell9-30.5 | cell11-30.5 | cell13-30.5 | cell15-30.5 | cell17-30.5 | cell19-30.5 | cell21-30.5 |           |           |  |  |  |  |
|  |          | cell3-28.5 | cell5-28.5 | cell7-28.5 | cell9-28.5 | cell11-28.5 | cell13-28.5 | cell15-28.5 | cell17-28.5 | cell19-28.5 | cell21-28.5 |           |           |  |  |  |  |
|  |          | cell3-26.5 | cell5-26.5 | cell7-26.5 | cell9-26.5 | cell11-26.5 | cell13-26.5 | cell15-26.5 | cell17-26.5 | cell19-26.5 | cell21-26.5 |           |           |  |  |  |  |
|  |          | cell3-24.5 | cell5-24.5 | cell7-24.5 | cell9-24.5 | cell11-24.5 | cell13-24.5 | cell15-24.5 | cell17-24.5 | cell19-24.5 | cell21-24.5 |           |           |  |  |  |  |
|  |          | cell3-22.5 | cell5-22.5 | cell7-22.5 | cell9-22.5 | cell11-22.5 | cell13-22.5 | cell15-22.5 | cell17-22.5 | cell19-22.5 | cell21-22.5 |           |           |  |  |  |  |
|  |          | cell3-20.5 | cell5-20.5 | cell7-20.5 | cell9-20.5 | cell11-20.5 | cell13-20.5 | cell15-20.5 | cell17-20.5 | cell19-20.5 | cell21-20.5 |           |           |  |  |  |  |
|  |          |            |            |            |            |             |             |             |             |             |             |           |           |  |  |  |  |
|  | cell1-17 | cell3-17   | cell5-17   |            |            |             | cell10-17   | cell12-17   | cell14-17   | cell16-17   | cell18-17   | cell20-17 | cell22-17 |  |  |  |  |
|  | cell1-15 | cell3-15   | cell5-15   |            |            |             | cell10-15   | cell12-15   | cell14-15   | cell16-15   | cell18-15   | cell20-15 | cell22-15 |  |  |  |  |
|  | cell1-13 | cell3-13   | cell5-13   |            |            |             | cell10-13   | cell12-13   | cell14-13   | cell16-13   | cell18-13   | cell20-13 | cell22-13 |  |  |  |  |
|  | cell1-11 | cell3-11   | cell5-11   |            |            |             | cell10-11   | cell12-11   | cell14-11   | cell16-11   | cell18-11   | cell20-11 | cell22-11 |  |  |  |  |
|  | cell1-9  | cell3-9    | cell5-9    | cell7-9    | cell9-9    |             | cell10-9    | cell12-9    | cell14-9    | cell16-9    | cell18-9    | cell20-9  | cell22-9  |  |  |  |  |
|  | cell1-7  | cell3-7    | cell5-7    | cell7-7    | cell9-7    |             | cell10-7    | cell12-7    | cell14-7    | cell16-7    | cell18-7    | cell20-7  | cell22-7  |  |  |  |  |
|  | cell1-5  | cell3-5    | cell5-5    |            |            |             | cell10-5    | cell12-5    | cell14-5    | cell16-5    | cell18-5    | cell20-5  | cell22-5  |  |  |  |  |
|  | cell1-3  | cell3-3    | cell5-3    |            |            |             | cell10-3    | cell12-3    | cell14-3    | cell16-3    | cell18-3    | cell20-3  | cell22-3  |  |  |  |  |
|  | cell1-1  | cell3-1    | cell5-1    |            |            |             | cell10-1    | cell12-1    | cell14-1    | cell16-1    | cell18-1    | cell20-1  | cell22-1  |  |  |  |  |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 43 - Área de cobertura dos sinais no térreo.

|                |                  |                 |                 |                   |                      |                |                  |                |                  |                 |                  |                 |                 |  |  |  |                 |
|----------------|------------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------------|----------------|------------------|----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|--|--|--|-----------------|
| cell30-40.88   | cell32-40.88     | cell34-40.88    | cell36-40.88    | cell38-40.88      | cell40-40.88         | cell42-40.88   | cell44-40.88     | cell46-40.88   | cell48-40.88     | cell50-40.88    |                  |                 |                 |  |  |  |                 |
| cell30-38.88   | cell32-38.88     | cell34-38.88    | cell36-38.88    | cell38-38.88      | cell40-38.88         | cell42-38.88   | cell44-38.88     | cell46-38.88   | cell48-38.88     | cell50-38.88    |                  |                 |                 |  |  |  |                 |
| cell30-36.88   | cell32-36.88     | cell34-36.88    | cell36-36.88    | cell38-36.88      | cell40-36.88         | cell42-36.88   | cell44-36.88     | cell46-36.88   | cell48-36.88     | cell50-36.88    |                  |                 |                 |  |  |  |                 |
| cell30-34.88   | cell32-34.88     | cell34-34.88    | cell36-34.88    | cell38-34.88      | cell40-34.88         | cell42-34.88   | cell44-34.88     | cell46-34.88   | cell48-34.88     | cell50-34.88    |                  |                 |                 |  |  |  |                 |
| cell30-32.88   | cell32-32.88     | cell34-32.88    | cell36-32.88    | cell38-32.88      | cell40-32.88         | cell42-32.88   | cell44-32.88     | cell46-32.88   | cell48-32.88     | cell50-32.88    |                  |                 |                 |  |  |  |                 |
| cell30-30.88   | cell32-30.88     | cell34-30.88    | cell36-30.88    | cell38-30.88      | cell40-30.88         | cell42-30.88   | cell44-30.88     | cell46-30.88   | cell48-30.88     | cell50-30.88    |                  |                 |                 |  |  |  |                 |
|                |                  |                 |                 |                   |                      |                |                  |                |                  |                 |                  |                 |                 |  |  |  |                 |
|                |                  |                 |                 |                   |                      |                | cell42 215-30.19 |                | cell45 42-30.543 |                 |                  |                 |                 |  |  |  | cell50 8-30.543 |
| cell32 2-27.48 | cell34 2-27.48   | cell36 2-27.48  | cell38 2-27.48  | cell40 2-27.48    |                      |                | cell42 215-30.19 |                | cell45 42-30.543 |                 |                  |                 | cell47 8-29.25  |  |  |  | cell50 55-33.7  |
| cell32 2-25.48 | cell34 2-25.48   | cell36 2-25.48  | cell38 2-25.48  | cell40 2-25.48    | cell48 825-23.53     | cell41 35-27.2 | cell43 35-27.2   | cell44 35-26.4 | cell45 8-27.25   | cell47 8-27.25  |                  |                 |                 |  |  |  | cell50 55-28.7  |
|                | cell34 83-25.205 |                 |                 |                   |                      | cell41 35-25.2 | cell43 35-25.2   | cell44 35-24.4 | cell45 8-25.25   | cell47 8-25.25  |                  |                 |                 |  |  |  | cell50 55-24.7  |
|                | cell34 19-23.24  | cell35 19-23.24 | cell36 19-23.24 | cell40 19-23.24   | cell41 121-23.59     |                |                  |                | cell45 8-23.25   | cell47 8-23.25  | cell49 825-23.52 | cell50 55-22.7  |                 |  |  |  |                 |
|                | cell34 52-22.09  |                 |                 |                   |                      |                |                  |                | cell45 8-21.25   | cell47 8-21.25  |                  |                 |                 |  |  |  |                 |
| cell31 9-20.22 | cell33 9-20.22   |                 |                 |                   |                      |                |                  |                | cell45 8-17.25   | cell47 8-17.25  |                  |                 |                 |  |  |  |                 |
| cell31 9-18.22 | cell33 9-18.22   |                 |                 |                   | cell38 7-16.5        | cell40 7-16.5  | cell42 7-16.5    | cell44 7-16.5  | cell46 7-16.5    | cell48 2-15.901 |                  |                 |                 |  |  |  |                 |
| cell30 39-14.5 | cell32 39-14.5   | cell34 39-14.5  |                 | cell35 9-17.3     | cell37 9-17.3        | cell38 7-14.5  | cell40 7-14.5    | cell42 7-14.5  | cell44 7-14.5    | cell46 7-14.5   | cell48 2-15.901  | cell50 8-14.959 |                 |  |  |  |                 |
|                |                  |                 |                 | cell35 9-15.3     | cell37 9-15.3        |                | cell40 7-13.82   | cell41 1-13.82 |                  |                 |                  | cell48 8-12.959 | cell50 8-12.959 |  |  |  |                 |
|                |                  |                 |                 | cell35 9-13.3     | cell37 9-13.3        |                | cell41 1-11.82   |                |                  |                 |                  | cell48 8-10.959 | cell50 8-10.959 |  |  |  |                 |
|                |                  |                 |                 | cell35 91-12.8    | cell37 91-12.8       | cell39 8-10.82 | cell41 8-10.82   |                |                  |                 |                  | cell48 8-8.959  | cell50 8-8.959  |  |  |  |                 |
|                |                  |                 |                 | cell35 91-10.8    | cell37 91-10.8       |                |                  |                |                  |                 |                  | cell48 8-6.959  | cell50 8-6.959  |  |  |  |                 |
|                |                  |                 |                 | cell35 91-8.8     | cell37 91-8.8        |                |                  |                |                  |                 |                  | cell48 8-4.959  | cell50 8-4.959  |  |  |  |                 |
|                |                  |                 |                 | cell35 91-6.8     | cell37 91-6.8        |                |                  |                |                  |                 |                  | cell48 8-2.959  | cell50 8-2.959  |  |  |  |                 |
|                |                  |                 |                 | cell35 91-4.8     | cell37 91-4.8        |                |                  |                |                  |                 |                  | cell48 8-0.959  | cell50 8-0.959  |  |  |  |                 |
|                |                  |                 |                 | cell35 91-2.8     | cell37 91-2.8        |                |                  |                |                  |                 |                  |                 |                 |  |  |  |                 |
|                |                  |                 |                 | cell35 91-0.80000 | cell37 91-0.80000002 |                |                  |                |                  |                 |                  |                 |                 |  |  |  |                 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 44 - Área de cobertura dos sinais no segundo pavimento.

|             |             |             |             |             |             |                |             |             |             |  |  |  |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|-------------|-------------|-------------|--|--|--|
| cell61.7-29 | cell63.7-29 | cell65.7-29 | cell67.7-29 | cell69.7-29 | cell71.7-29 | cell73.7-29    | cell75.7-29 | cell77.7-29 |             |  |  |  |
| cell61.7-27 | cell63.7-27 | cell65.7-27 | cell67.7-27 | cell69.7-27 | cell71.7-27 | cell73.7-27    | cell75.7-27 | cell77.7-27 |             |  |  |  |
| cell61.7-25 | cell63.7-25 | cell65.7-25 | cell67.7-25 | cell69.7-25 | cell71.7-25 | cell73.7-25    | cell75.7-25 | cell77.7-25 |             |  |  |  |
|             |             |             | cell67.7-23 | cell69.7-23 | cell71.7-23 | cell73.7-23    | cell75.7-23 | cell77.7-23 |             |  |  |  |
|             |             |             | cell67.7-21 | cell69.7-21 | cell71.7-21 | cell73.7-21    | cell75.7-21 | cell77.7-21 |             |  |  |  |
|             |             |             | cell67.7-19 | cell69.7-19 | cell71.7-19 | cell73.7-19    | cell75.7-19 | cell77.7-19 |             |  |  |  |
|             |             |             |             |             |             | cell74.9-18.43 |             |             |             |  |  |  |
|             |             |             | cell68-16.6 | cell70-16.6 | cell72-16.6 | cell74-16.6    | cell76-16.6 | cell78-16.6 | cell80-16.6 |  |  |  |
|             |             |             | cell68-14.6 | cell70-14.6 | cell72-14.6 | cell74-14.6    | cell76-14.6 | cell78-14.6 | cell80-14.6 |  |  |  |

Fonte: Elaborado pelo autor.

No entanto, dois sistemas de sinalizações serão avaliados: os sinais fotoluminescente e os de balizamento. As informações de como esses sistemas foram avaliados e estão descritas no programa experimental.

## **4.6. PROGRAMA EXPERIMENTAL**

### **4.6.1. Visibilidade dos sinais**

Conforme o item 2.1 do capítulo 3, as interações das sinalizações pelos agentes foram realizadas por meio dos valores de *appeal*, juntamente das informações direcionais e raio de visibilidade descritos no item acima. Contudo, os valores de *appeal* não interferem na dimensão/abrangência do raio de visibilidade, apenas aumentam ou diminuem a capacidade de visibilidade dos sinais, com base nas características de luminância. Desse modo, os valores de luminância dos sinais fotoluminescentes e de balizamento foram escolhidos para verificar a eficiência de cada sistema em um processo de evacuação.

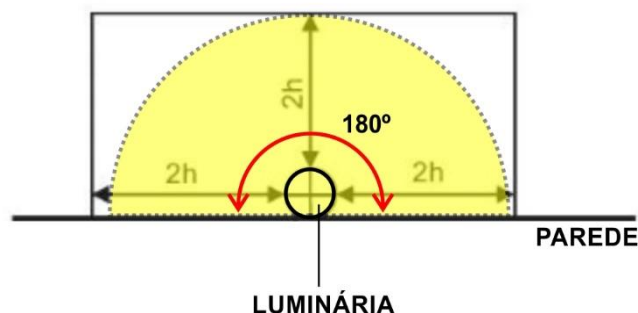
Primeiramente, para as sinalizações fotoluminescentes, foram adotados os valores mínimos estabelecidos na norma ABNT NBR 13434-3 (ABNT, 2018) de 140 mcd/m<sup>2</sup> e 20 mcd/m<sup>2</sup>. Os mesmos correspondem, respectivamente, aos tempos de 10 min e 60 minutos sem iluminação, conforme descritos no item 2.3.1 do Capítulo 2, que devem ser suficientes para guiar os agentes às saídas de emergência.

Para os sinais de balizamento, o valor mínimo de luminância conforme a ABNT NBR 10898 (ABNT, 2013), é de 30 lumens, segundo as descrições do item 2.3.2 no Capítulo 2. Para a conversão das unidades de medidas de lumens para milicandela, foi necessário definir o tipo de lâmpada e o ângulo de abrangência conforme a instalação. Assim, utilizaram-se lâmpadas fluorescentes, com ângulo de abrangência mínimo de 180° (Figura 45), resultando em um valor de 4.775 milicandelas.

Os valores de luminância para ambos os sistemas de sinalização adotados estão descritos na Tabela 26.



Figura 45 - Área de abrangência da iluminação de emergência.



Fonte: ABNT NBR 10898 (ABNT, 2013).

Tabela 26 - Fatores de luminância estabelecidos.

| Luminância (mcd/m <sup>2</sup> ) | Propriedade      | Tempo sem iluminação (min) |
|----------------------------------|------------------|----------------------------|
| <b>4.775 (ABNT, 2013)</b>        | Balizamento      | -                          |
| <b>140 (ABNT, 2018)</b>          | Fotoluminescente | 10                         |
| <b>20 (ABNT, 2018)</b>           | Fotoluminescente | 60                         |

Fonte: ABNT NBR 13434-3 10898 e ABNT NBR 10898 (ABNT, 2018, 2013).

Os valores de luminância, determinados na Tabela 26, irão corresponder aos valores de *appeal*, como fatores de interação dos agentes com o sinais, conforme item 4.1 do Capítulo 4. Os sinais de balizamento possuem uma capacidade de luminância maior do que os sinais fotoluminescentes, dessa forma serão representados pelo valor 1.0 de *appeal*, sendo esse o máximo permitido pelo *software* (MATHEW *et al.*, 2019). Os demais valores de *appeal* foram calculados por meio de regra de três, tendo como referência o valor máximo de luminância do sinal de balizamento, de 4.775 mcd/m<sup>2</sup>. Os valores resultantes para cada sistema de sinalização estão representados na Tabela 27. Ademais, utilizou-se o valor zero para representar a perda total da capacidade luminescente de ambos os sistemas de sinais, de modo a verificar a importância dos mesmos no processo de evacuação.

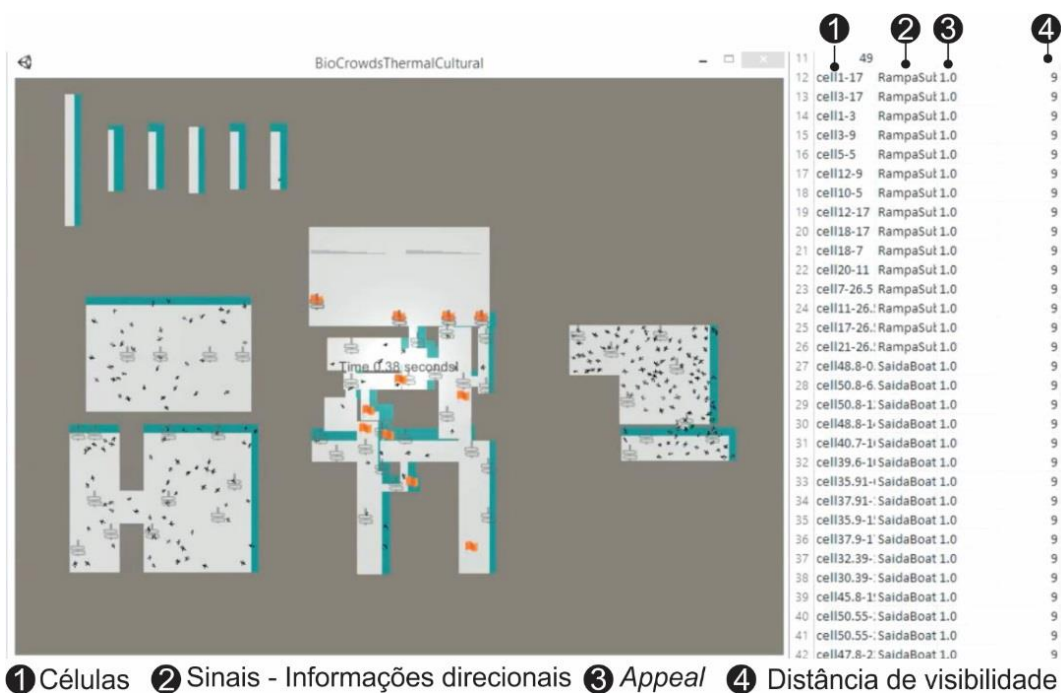
Tabela 27 - Valores de *appeal* para as sinalizações.

| Dimensão da sinalização (m) | Distância máxima de visibilidade (m) | Luminância (mcd/m <sup>2</sup> ) | Tipo             | Tempo sem iluminação (min) | Valores de <i>appeal</i> |
|-----------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|------------------|----------------------------|--------------------------|
| 0,15 x 0,30                 | 9                                    | 4.775<br>(ABNT, 2013)            | Balizamento      | -                          | 1.0                      |
|                             |                                      | 140 (ABNT, 2018)                 | Fotoluminescente | 10                         | 0.029                    |
|                             |                                      | 20 (ABNT, 2018)                  | Fotoluminescente | 60                         | 0.004                    |
|                             |                                      | Zero                             | -                | -                          | Zero                     |

Fonte: ABNT NBR 13.434-3 e ABNT NBR 10898 ( ABNT, 2018, 2013).

Por fim, esses valores definem as diferentes condições de luminância em que os sistemas de sinalizações de emergência foram avaliados. Os mesmos foram inseridos no modelo, em cada célula, junto às informações direcionais e distância de visibilidade. A Figura 46 representa, como exemplo, as configurações finais para avaliação dos sinais de balizamento. As mesmas seguem para os sinais fotoluminescentes, trocando apenas os valores de *appeal*, em representação às condições avaliadas em cada cenário.

Figura 46 – Configuração dos elementos da simulação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir disso, foram estabelecidos os cenários das simulações, descritos a seguir.

#### 4.7. CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

Com base nas informações e configurações descritas neste capítulo, foram estabelecidas 4 situações de análise quanto aos sistemas de sinalização fotoluminescentes e de balizamento, em função do tempo de luminância. Em todos os cenários serão 240 agentes movendo-se em situação de emergência a uma velocidade máxima de 1,5m/s, conforme descritos no item 4.4 deste capítulo. Serão realizadas 5 repetições de cada cenário, de modo a verificar a conformidade dos resultados. Os cenários avaliados de acordo com a luminância são os seguintes:

- Cenário 1: Todos os sinais implementados foram de balizamento, em cumprimento às determinações normativas da Resolução Técnica de Transição – RTT (ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2017) e do item 4.1.1.3 da ABNT NBR 13434-1 (ABNT, 2004a). As configurações dos sinais para esse cenário seguem conforme a Tabela 28, instalados de acordo com os projetos dos Apêndices A e B.

Tabela 28 - Critérios para o cenário 1.

| Dimensão da sinalização (m) | Distância máxima de visibilidade (m) | Luminância (mcd/m <sup>2</sup> ) | Tipo        | Tempo sem iluminação (min) | Valores de <i>appeal</i> |
|-----------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|-------------|----------------------------|--------------------------|
| 0,15 x 0,30                 | 9                                    | 4.775<br>(ABNT, 2013)            | Balizamento | -                          | 1.0                      |

Fonte: Elaborado pelo autor.

- Cenário 2: Nesse cenário, foram implementadas as sinalizações fotoluminescentes, representando o tempo de 10 minutos sem iluminação, correspondendo a um fator de luminância de 140 mcd/m<sup>2</sup> conforme ABNT NBR 13434-3 (ABNT, 2018). A configuração das sinalizações está descrita conforme Tabela 29, seguindo as instalações dos sinais conforme os projetos dos Apêndices A e B.

Tabela 29 - Critérios para o cenário 2.

| Dimensão da sinalização (m) | Distância máxima de visibilidade (m) | Luminância (mcd/m <sup>2</sup> ) | Tipo             | Tempo sem iluminação (min) | Valores de <i>appeal</i> |
|-----------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|------------------|----------------------------|--------------------------|
| 0,15 x 0,30                 | 9                                    | 140 (ABNT, 2018)                 | Fotoluminescente | 10                         | 0.029                    |

Fonte: Elaborado pelo autor.

- Cenário 3: Nesse cenário, as sinalizações fotoluminescentes representam o tempo de 60 minutos sem iluminação adequada, correspondendo a um fator de luminância de 20 mcd/m<sup>2</sup>, conforme ABNT NBR 13434-3 (ABNT, 2018). A configuração das sinalizações está descrita conforme Tabela 30 e seguem às instalações conforme os projetos dos Apêndices A e B.

Tabela 30 - Critérios para o cenário 3.

| Dimensão da sinalização (m) | Distância máxima de visibilidade (m) | Luminância (mcd/m <sup>2</sup> ) | Tipo             | Tempo sem iluminação (min) | Valores de <i>appeal</i> |
|-----------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|------------------|----------------------------|--------------------------|
| 0,15 x 0,30                 | 9                                    | 20 (ABNT, 2018)                  | Fotoluminescente | 60                         | 0.004                    |

Fonte: Elaborado pelo autor.

- Cenário 4: Nesse cenário, as sinalizações fotoluminescentes possuem um valor de luminância zero, ou seja, representa um cenário onde as propriedades luminescentes desses sinais não são mais eficientes para que os agentes possam percebê-los em ambientes de baixa ou nenhuma luminosidade. A configuração das sinalizações está descrita na Tabela 31, e seguem às instalações conforme os projetos dos Apêndices A e B.

Tabela 31 - Critérios para o cenário 4.

| Dimensão da sinalização (m) | Distância máxima de visibilidade (m) | Luminância (mcd/m <sup>2</sup> ) | Tipo | Tempo sem iluminação (min) | Valores de <i>appeal</i> |
|-----------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|------|----------------------------|--------------------------|
| 0,15 x 0,30                 | 9                                    | Zero                             | -    | -                          | Zero                     |

Fonte: Elaborado pelo autor.

## Capítulo 5

# ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, serão apresentados e discutidos os resultados da presente pesquisa. Primeiramente serão apresentados os tempos de evacuação obtidos, em relação ao fator de luminância de cada sistema de sinalização analisado. Em seguida, serão descritas as análises conforme cada cenário, bem como a relação entre eles.

### 5.1. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Com base nos 4 cenários descritos no capítulo 3, os resultados obtidos estão descritos na Tabela 32. As simulações foram realizadas em um notebook Acer com Windows 7 Ultimate, processador Intel Core i5-2430M, CPU 2.40GHz e memória RAM de 4 GB. Inicialmente foram realizadas 3 simulações por cenário a fim de obter os tempos médios de evacuação, porém, devido a variabilidade dos tempos do cenário 2, foi necessário aumentar o número de repetições, sendo então, 5 simulações para cada um dos cenários.

Tabela 32 - Tempos de evacuação para os cenários.

| Tempos (s)                         | Cenários   |  |   |                                    |
|------------------------------------|--|--|---|------------------------------------|
|                                    | C1<br>4.775 mcd/m <sup>2</sup><br>( <i>appeal</i> 1.0) | C2<br>140 mcd/m <sup>2</sup><br>( <i>appeal</i> 0.029) | C3<br>20 mcd/m <sup>2</sup><br>( <i>appeal</i> 0.004) | C4<br>Zero<br>( <i>appeal</i> 0.0) |
| T1                                 | 71,18007   | 225,2113   | 369,9153  | 475,8970                           |
| T2                                 | 72,39986   | 225,3713   | 380,8093  | 475,4972                           |
| T3                                 | 80,57849   | 171,4798   | 411,5324  | 475,5372                           |
| T4                                 | 72,49985   | 175,9008   | 370,0152  | 475,8370                           |
| T5                                 | 73,51968   | 175,8607   | 369,9752  | 472,8787                           |
| <b>Média</b>                       | <b>74,03559</b>  | <b>194,7648</b>  | <b>380,4495</b>                                       | <b>475,1294</b>                    |
| <b>Média Tabulada</b>              | <b>74</b>  | <b>194</b>   | <b>380</b>  | <b>475</b>                         |
| <b>Tempo em minutos e segundos</b> | <b>1 min 14s</b>                                       | <b>3 min 14s</b>                                       | <b>6 min 20s</b>                                      | <b>7 min 55s</b>                   |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os tempos médios finais de evacuação em relação aos valores de luminância e sinais estão representados na Tabela 33:

Tabela 33 - Tempos de evacuação em relação ao *appeal* de cada sinal.

| Cenários  | Característica do sinal | Valor de luminância (mcd/m <sup>2</sup> ) | Tempo sem iluminação (min) | Tempo de evacuação (minutos e segundos) |
|-----------|-------------------------|---|----------------------------|---|
| <b>C1</b> | Balizamento             | 4.775                                     | -                          | <b>1 min 14s</b>                        |
| <b>C2</b> | Fotoluminescente        | 140                                       | 10 (ABNT, 2018)            | <b>3 min 14s</b>                        |
| <b>C3</b> | Fotoluminescente        | 20  | 60 (ABNT, 2018)            | <b>6 min 20s</b>                        |
| <b>C4</b> | Fotoluminescente        | zero                                      | -                          | <b>7 min 55s</b>                        |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme os dados da Tabela 33, pode-se observar que as sinalizações de balizamento apresentaram um tempo de evacuação menor em relação aos tempos de evacuação obtidos pelos sinais fotoluminescentes. Os sinais de balizamento, por apresentarem um fator de luminância permanente durante todo o evento, contribuem para uma evacuação eficiente em qualquer horário que possa ser exigida uma situação de desocupação de um local. O tempo médio de realização de cada simulação deste cenário foi de 13 minutos. Já para os sinais fotoluminescentes, a atenuação luminância, em consequência dos tempos de 10 minutos e 60 minutos (ABNT, 2018) sem iluminação, apresentou tempos maiores de evacuação, provavelmente devido à perda da capacidade de visibilidade dos mesmos pelos agentes.

O tempo de evacuação obtido no cenário 2, representado pelos sinais fotoluminescentes após 10 minutos sem iluminação adequada, conforme a norma ABNT NBR 13434-3 (ABNT, 2018), apresentou uma diferença de 2 min, em relação ao tempo de evacuação obtido pelos sinais de balizamento no cenário 1, ou seja, um aumento de cerca de 163% a mais, no tempo de evacuação para os sinais fotoluminescente. Este cenário apresentou maior variabilidade nos resultados. Esta variabilidade pode ser justificada devido ao comportamento aleatório dos agentes frente a esta condição de sinalização. Foi possível observar que durante o processo de evacuação, os agentes localizados bem próximos aos sinais, conseguiram interpretar e reagir conforme as informações. Porém, a distância ou afastamento entre

eles no cenário, pode ter influenciado no comportamento exploratório dos mesmos. Neste cenário o tempo médio para a realização de cada uma das 5 simulações, foi de 34 minutos. A seguir, no item 5.2 serão apontados os comportamento dos agentes em cada um dos cenários.

Já a média dos tempos de evacuação dos sinais fotoluminescentes no cenário 3, que representa um tempo de 60 minutos sem iluminação adequada, conforme a norma ABNT NBR 13434-3 (ABNT, 2018), foi cerca de 5min 06 s a mais em relação aos sinais de balizamento do cenário 1, ou seja, uma diferença de 414% a mais no tempo de evacuação para os sinais fotoluminescentes. Para este cenário, o tempo médio de cada uma das simulações foi de 48 minutos. No cenário 4, onde os sinais não possuem capacidade de visibilidade pra guiar os agentes até as saídas, o tempo de evacuação foi de 7min 55s, aproximadamente 6min 41s a mais em relação ao cenário 1, dos sinais de balizamento. No último cenário, o tempo médio para a realização de cada uma das simulações foi de 31 minutos.

De modo a verificar a influência dos sinais de emergência em um processo de evacuação, tendo como base o mesmo modelo e mesmo número de agentes, a Tabela 34 apresenta a comparação entre os tempos de evacuação obtidos no estudo de Cassol (2016) e os tempos de evacuação obtidos nos diferentes cenários da presente pesquisa.

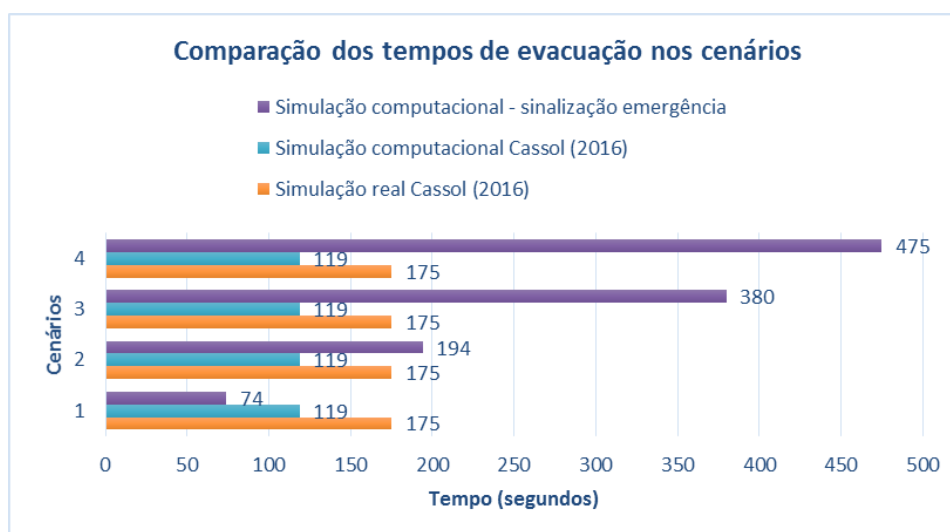
Tabela 34 - Comparação entre os tempos de evacuação.

| Estudos                                      | Número de agentes simulados | Simulações   | Tempo médio de evacuação tabulado (s) | Velocidade máxima de movimento (m/s) |
|--|-----------------------------|--|---------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Cassol (2016)</b>                         | 240                         | Simulação Real Cassol (2016)   | 175                                   | 1,5                                  |
|  |                             | Simulação Computacional Cassol (2016)                                  | 119                                   | 1,3                                  |
| <b>Cenários de sinalização de emergência</b> | 240                         | <b>C1-</b> Simulação Sinais de Balizamento (4.775 mcd/m <sup>2</sup> ) | 74                                    | 1,5                                  |
|  |                             | <b>C2-</b> Simulação Sinal Fotoluminescente (140 mcd/m <sup>2</sup> )  | 194                                   |                                      |
|  |                             | <b>C3-</b> Simulação Sinal Fotoluminescente (20 mcd/m <sup>2</sup> )   | 380                                   |                                      |
|  |                             | <b>C4-</b> Simulação Sinal Fotoluminescente (zero mcd/m <sup>2</sup> ) | 475                                   |                                      |
|  |                             |  |                                       |                                      |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base na Tabela 34, pode-se observar que os sinais de emergência podem influenciar nos tempos de evacuação. A Figura 47 apresenta, de forma mais clara, a relação entre os tempos obtidos nas simulações computacionais, nos diferentes cenários, em relação aos tempos obtidos no estudo de Cassol (2016).

Figura 47 - Gráfico do tempo de evacuação em relação ao *appeal* do sinal.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Embora na simulação real as pessoas tenham sido conduzidas pelos funcionários até às saídas, conforme descrito por Cassol (2016), a simulação computacional, ao utilizar as sinalizações de balizamento, mostraram-se mais eficientes do que um processo de condução, reduzindo o tempo de evacuação em 136%, apresentando a mesma velocidade máxima de movimento. Além disso, o tempo médio obtido nas simulações computacionais de Cassol (2016), também foi maior do que o tempo médio obtido no cenário 1. Contudo, no estudo de simulação computacional de Cassol (2016), a velocidade máxima dos agentes foi menor do que a velocidade dos agentes no cenário 1, porém os mesmos buscavam um caminho mais curto e não estavam configurados em situação de pânico.

Em relação às placas fotoluminescentes, os tempos médios de evacuação obtidos nos cenários 2, 3 e 4 foram maiores que os tempos médios das simulações computacionais obtidos no estudo de Cassol (2016), além de serem maiores que o tempo de evacuação real. No cenário 2, o tempo de evacuação foi aproximadamente 11% maior do que na simulação real. Já no cenário 3, o tempo de evacuação foi 117%



maior em relação à simulação real. Esses dois cenários mostram que a atenuação da luminância, devido à falta de iluminação adequada durante todo o evento, dificulta a percepção dos sinais de emergência pelos agentes, perdendo a eficiência na orientação das pessoas no processo de evacuação. No cenário 4, a perda da capacidade luminescente dos sinais contribuiu para um aumento em cerca de 171% a mais, em comparação ao tempo médio obtido na simulação real.

Com base nesses resultados, pôde-se observar a influência dos sistemas de sinalizações durante um processo de evacuação, fator também observado nos resultados de Silva, Scholl e Adamatti (2017). No entanto, na falta de um sistema eficiente, os treinamentos de simulações reais são importantes e contribuem para a otimização do processo de evacuação, principalmente em locais de grande público.

Por fim, os sinais de balizamento proporcionam mais facilmente a identificação de todas as rotas de fuga, independentemente da posição dos agentes no cenário, reduzindo a probabilidade de congestionamentos e contribuindo para a eficiência da evacuação. Conforme descrito no estudo de Xie (2011), os sinais de balizamento dispõem de um tempo maior de visibilidade em relação aos sinais fotoluminescentes, favorecendo a percepção das informações até mesmo em condições severas de incêndio. Essas informações também foram confirmadas no estudo de Galea, Xie e Lawrence (2014).

No entanto, a perda da capacidade luminescente dos sinais fotoluminescentes pode dificultar a visualização das rotas de fuga, assim como pode causar situações de aglomeração, aumentando consideravelmente o tempo de evacuação. A diferença nos tempos de evacuação dos sinais de balizamento, em comparação aos sinais fotoluminescentes, convergem com os estudos de Filippidis *et al.* (2006) e Xie *et al.* (2012), os quais concluíram que o aumento da capacidade dos sinais influenciam diretamente no tempo de evacuação, contribuindo com a redução do percurso, na sugestão de rotas alternativas.

Conforme apresentado nas conclusões de Xie *et al.* (2012), a implementação de luzes nos sinais aumentam a capacidade de visibilidade, otimizando a evacuação.

Em concordância com os estudos de Filippidis *et al.* (2006), pôde-se constatar, também, que é possível avaliar os sistemas de sinalizações de emergência por meio de simulações computacionais e que os mesmos têm a capacidade de interagir com

os agentes através das tomadas de decisões. A interação dos sinais com os agentes podem ser observada na descrição de cada um dos cenários que se seguem.

## 5.2. RESULTADOS POR CENÁRIO

### 5.2.1. Cenário 1

Nesse cenário, considerando todas as sinalizações de balizamento, as placas eram totalmente perceptíveis (*appeal* 1.0), apresentando um tempo médio de evacuação de 1 minuto e 24 segundos. De modo geral, o sistema de sinalização foi bastante eficiente, conduzindo os agentes de forma rápida e sem dispersão em todas as simulações. Pode-se observar que nos primeiros 10 segundos os indivíduos rapidamente percebem as sinalizações e movimentam-se de acordo com as informações das mesmas, Figura 48.

Figura 48 - Cenário 1 – evacuação em 10 segundos.

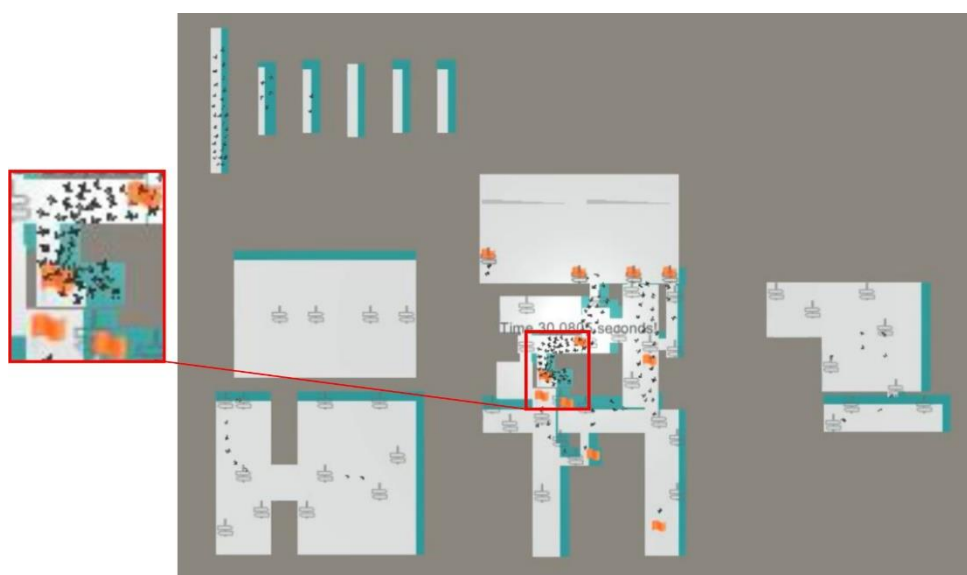


Fonte: Elaborado pelo autor.

Porém, devido aos sinais serem completamente perceptíveis, os agentes dirigiram-se rapidamente às saídas dos ambientes e às circulações verticais. Por esse motivo, formou-se na circulação vertical central um ponto de alta densidade de pessoas, conforme mostra a Figura 49. Salienta-se que as escadas que compõem, dentre elas a rota de fuga 2, ligando o segundo pavimento e o subsolo ao térreo, até a saída de emergência 2, não possuíam larguras mínimas de acordo com as normativas já relatadas no item 4.3 do Capítulo 4.

Pelo mesmo motivo das sinalizações serem completamente perceptíveis, os agentes próximos aos locais de congestionamento conseguiram visualizar as sinalizações adjacentes e deslocaram-se para rotas alternativas, buscando sempre o caminho mais curto a ser percorrido ou o menor tempo. Conforme observado no estudo de Silva, Scholl e Adamatti (2017), o conjunto das sinalizações podem contribuir na evacuação, mesmo se as dimensões das rotas de fuga não estiverem em conformidade com as normas de segurança. Conforme os estudos de Fu *et al.* (2018) e Mathew *et al.*, (2019), os agentes possuem a tendência de buscar rotas alternativas ou mais acessíveis, devido ao impacto do sistema de sinalização. Além disso a proximidade entre os agentes como identificado em Silva, Scholl e Adamatti (2017), contribui para o comportamento exploratório dos agentes identificado por Bicho *et al.* (2012) e Mathew *et al.*, (2019).

Figura 49 - Cenário 1 – evacuação em 30 segundos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As rotas de fuga 1, 2 e 3 foram as mais utilizadas pelos agentes, como mostra na Figura 49. De acordo com as sinalizações, as saídas de emergência 1 e 3 eram facilmente identificadas, por não haver obstrução ou troca de direção. Já a rota de fuga 4 foi utilizada apenas por 3 agentes em todas as simulações. Por fim, como no exemplo das Figuras 50 a 52, em todas as simulações, os agentes conseguiram sair totalmente da edificação.

Figura 50 – Cenário 1 - Simulação final 1 e 2.



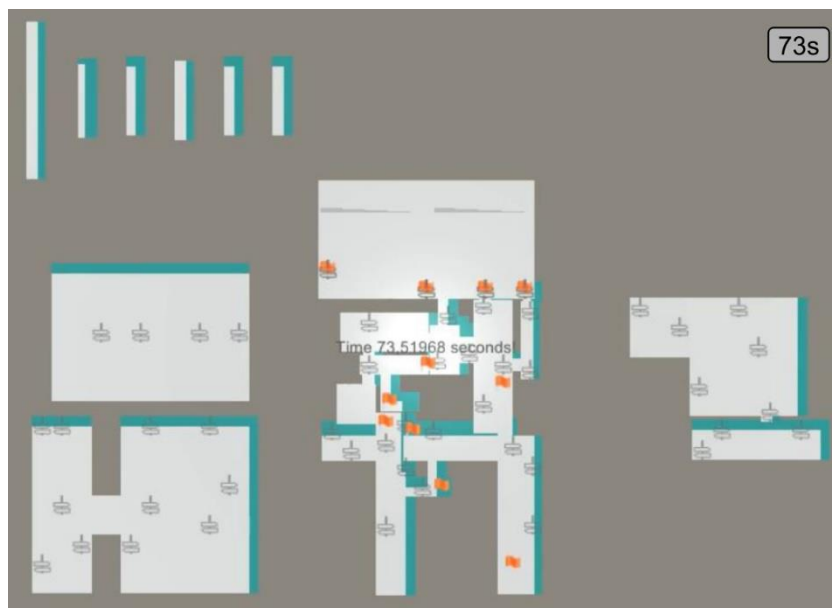
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 51 – Cenário 1 - Simulação final 3 e 4.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 52 – Cenário 1 - Simulação final 5.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 5.2.2. Cenário 2

No cenário 2, considera-se que todas as sinalizações são fotoluminescentes, operando em sua capacidade máxima, ou seja, com luminância de  $140 \text{ mcd/m}^2$  para 10 minutos sem iluminação, correspondendo ao valor de  $ap_{pea}/0.029$ . O tempo médio de evacuação para esse cenário foi de 3 minutos e 24 segundos.

Observa-se que, nos primeiros 10 segundos, os agentes conseguiram perceber as sinalizações, principalmente os que estão localizados mais próximos dos sinais (Figura 53). Porém, aos 30 segundos de simulação, identifica-se um ponto de congestionamento na circulação vertical central, que serve de rota de saída do segundo pavimento e subsolo, para as saídas de emergência do pavimento térreo (Figura 54). Esse estreitamento pode ter sido ocasionado pelas dimensões incorretas das larguras de escadas e ramas das rotas de fuga conforme já descrito no item 4.3 do Capítulo 4, resultando em um efeito de parada, observado nos estudos de Bicho *et al.* (2012), Silva, Scholl e Adamatti (2017) e Mathew *et al.*, (2019), que contribuiu para o aumento do tempo de saída.

Figura 53 - Cenário 2 - evacuação em 10 segundos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 54 - Cenário 2 – evacuação em 30 segundos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após um minuto, muitos agentes ainda permanecem na edificação em comparação ao tempo total de evacuação do cenário anterior. Além disso, observou-

se que, em uma das simulações, o ponto de congestionamento na circulação vertical central permanecia após 1 minuto (Figura 55).

Figura 55 - Cenário 2 - evacuação em 60 segundos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir desse cenário, pôde-se identificar, em vários momentos, o comportamento de seguir um líder, conforme identificado em Fu *et al.* (2018) e como mostra a Figura 56. Esse fenômeno é dado pelo comportamento exploratório adotado pelos agentes quando a informação não é eficiente, observado em Bicho *et al.* (2012) e Mathew *et al.*, (2019).

Figura 56 - Cenário 2 - evacuação em 120 segundos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Este cenário apresentou maior variabilidade nos resultados. Esse fator pode ser justificado por meio do comportamento aleatório e da dispersão dos agentes no modelo, devido a um sistema de sinalização não tão eficiente, se comparado ao cenário 1. O fato dos agentes estarem dispersos no modelo, influenciou no tempo de evacuação. Observou-se que os agentes localizados próximos às sinalizações, conseguem perceber e reagir mais rapidamente as informações. Já os agentes mais afastados dos sinais, não conseguem perceber com evidência as informações, adotando um comportamento exploratório como evidenciado em Bicho *et al.* (2012) e Mathew *et al.*, (2019). Deste modo o distanciamento entre os agentes como identificado em Silva, Scholl e Adamatti (2017), pode ter influenciado diretamente na ação de evacuação durante as simulações.

Pelo fato do sistema de sinalização não ser completamente perceptível, alguns agentes não conseguiram deixar o local. A Tabela 35 apresenta a quantidade de agentes presos em cada uma das simulações desse cenário, o qual resultou em uma média de 7 mortos nesse cenário. Dessa forma, o tempo total de evacuação foi estabelecido pelo acesso do último agente ao *goal* final, considerado a saída de emergência fora da edificação (Figuras 57 à 59).

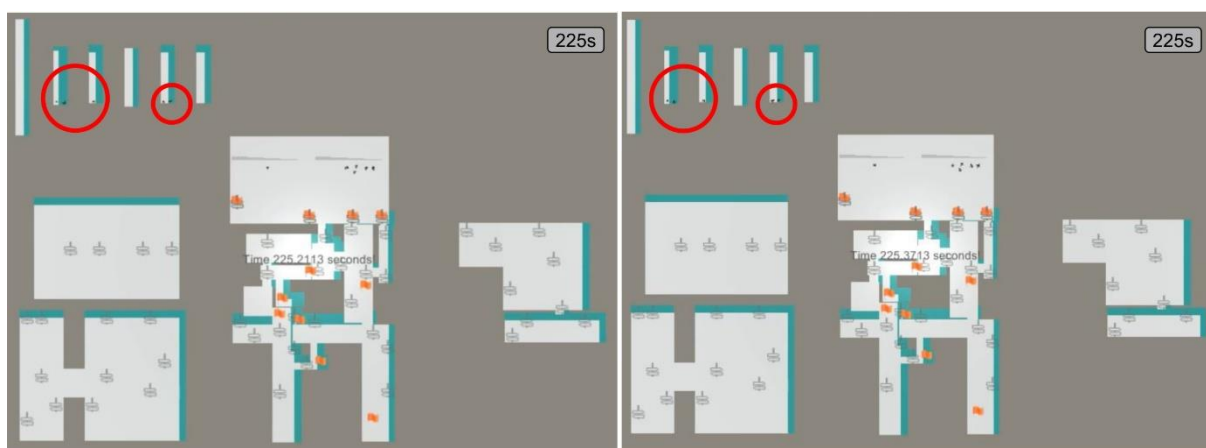


Tabela 35 - Número de agentes que não saíram do local.

| Simulações   | Número de agentes que não saíram do local |
|--------------|---|
| S1           | 5   |
| S2           | 5   |
| S3           | 15  |
| S4           | 5   |
| S5           | 5   |
| <b>Média</b> | <b>7</b>                                  |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 57 - Cenário 2 – Simulação final 1 e 2.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 58 - Cenário 2 - Simulação final 3 e 4.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 59 - Cenário 2 - Simulação final 5.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 5.2.3. Cenário 3

Para esse cenário, considera-se que todas as sinalizações são fotoluminescentes, operando na capacidade de luminância de  $20 \text{ mcd/m}^2$ , que corresponde a 60 minutos sem iluminação adequada. O valor correspondente de *appeal* é de 0.004, resultando em um tempo médio de evacuação de 6 minutos e 34 segundos, sendo aproximadamente 96% maior, em relação ao tempo de evacuação do cenário anterior (C2).

Observa-se que, nos primeiros 10 segundos, alguns agentes conseguem identificar facilmente os acessos de escadas ou rampas para o pavimento térreo, bem como as saídas de emergência, principalmente aqueles que se encontram próximos a elas, conforme mostra a Figura 60. Outros ainda permanecem dispersos nos pavimentos.

Figura 60 - Cenário 3 - evacuação em 10 segundos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim, identificou-se, claramente, aos 30 segundos de evacuação, pelo menos três pontos de aglomeração ou congestionamento de pessoas nas circulações verticais de acesso ao pavimento térreo (Figura 61). Conforme observado em Silva, Scholl e Adamatti (2017), as dimensões inadequadas das rotas de fuga e saídas de emergência causaram um estreitamento das áreas de passagem, formando um gargalo. Esse fator contribuiu para a redução da velocidade de caminhada, ocasionando um efeito de parada, influenciando diretamente no tempo total de evacuação, conforme observado por Bicho, (2009), Bicho *et al.* (2012) e Mathew *et al.* (2019).

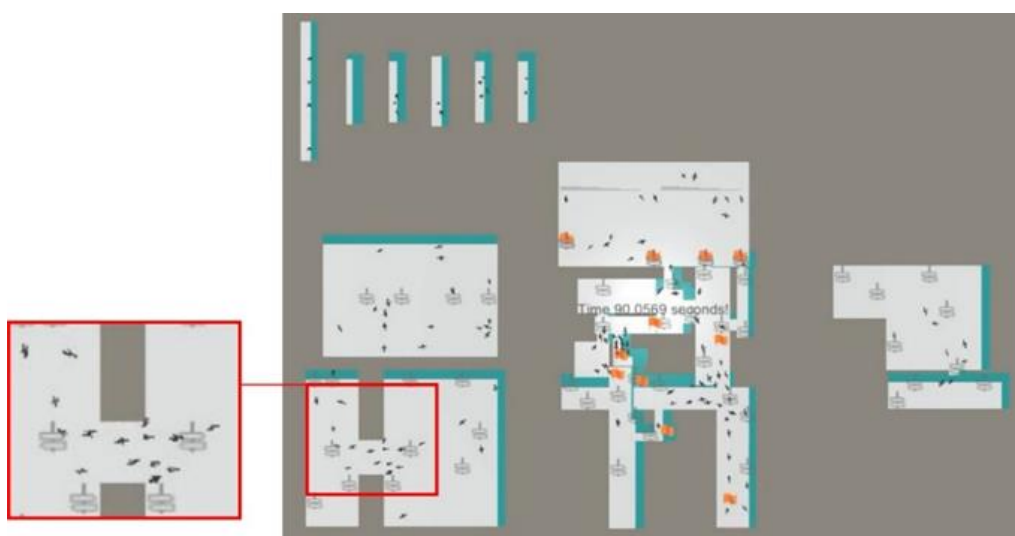
Figura 61 - Cenário 3 - evacuação em 30 segundos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesse cenário, observa-se que, após 90 segundos de simulação (Figura 62), muitos agentes ainda não conseguiram sair do local, adotando comportamento de outros, ou seguindo um líder conforme Fu *et al.* (2018). Pelos fatos dos agentes não conseguirem interpretar as informações dos sinais ou até mesmo visualizá-los, acabaram sendo influenciados pelos agentes ao redor, comprovando o comportamento exploratório adotado pelos agentes quando a sinalização não é eficiente como em Bicho, (2009), Bicho *et al.* (2012) e Mathew *et al.* (2019).

Figura 62 - Cenário 3 - evacuação em 90 segundos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após 2 minutos, em comparação ao mesmo tempo registrado no cenário 2, muitos agentes ainda permanecem no local, tornando evidente que a redução do fator luminescente dificulta a visibilidade dos sinais e de suas informações, mesmo que os agentes estejam na área de visibilidade dos sinais (Figura 63).

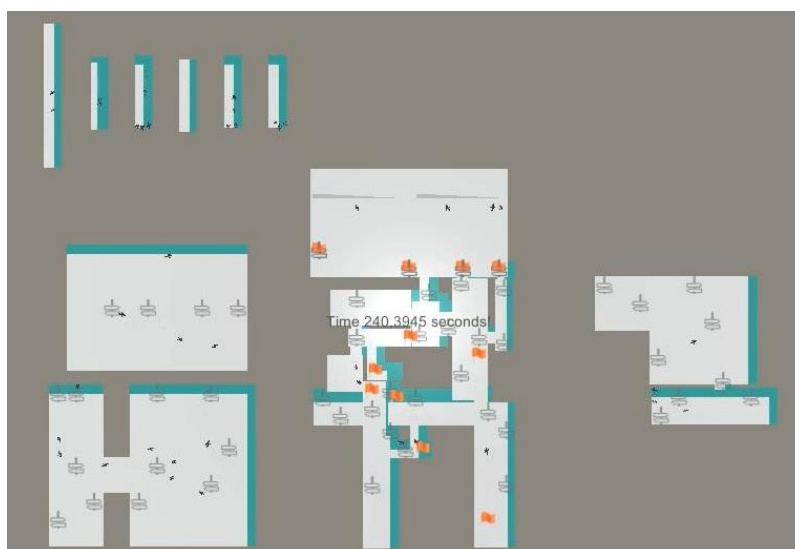
Figura 63 - Cenário 3 - evacuação em 120 segundos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Somente após 4 minutos de simulação, o cenário encontra-se praticamente vazio. Mesmo assim, alguns indivíduos circulam pelos pavimentos superior e subsolo, tentando encontrar a saída de emergência mais próxima (Figura 64).

Figura 64 - Cenário 2 - evacuação em 240 segundos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

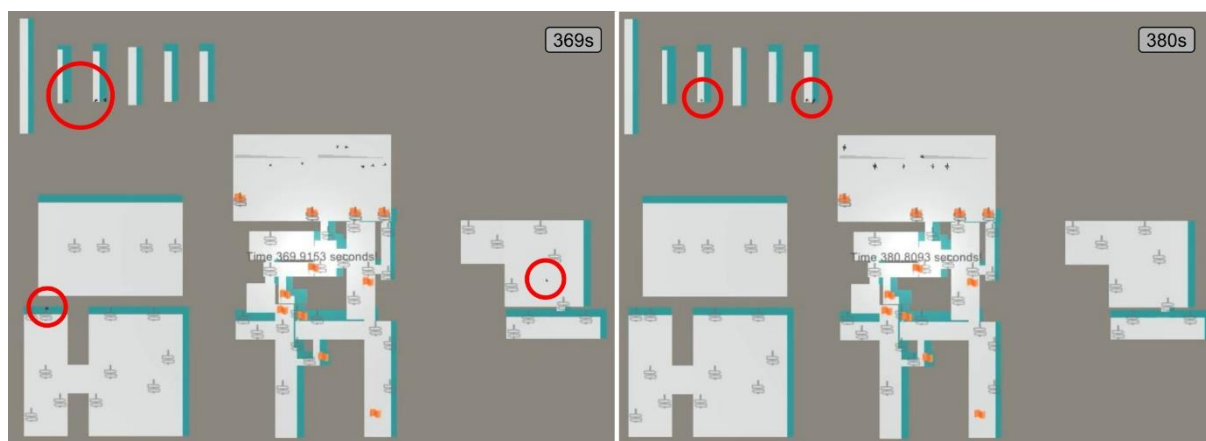
A dispersão dos agentes no modelo com identificado no estudo de Silva, Scholl e Adamatti (2017), associado à ineficiência do sistema de sinalização, contribuíram para o aumento no tempo de evacuação. Por esse motivo, alguns agentes não conseguiram sair do local, conforme representados na Tabela 36, resultando em média 6 vítimas para esse cenário (Figuras 65 à 67). Nesse caso, também foi considerado o acesso do último agente ao *goal* final, como tempo total da evacuação em cada uma das simulações.

Tabela 36 - Número de agentes que não saíram do local.

| Simulações   | Número de agentes que não saíram do local |
|--------------|---|
| <b>S1</b>    | 5   |
| <b>S2</b>    | 3   |
| <b>S3</b>    | 9   |
| <b>S4</b>    | 5   |
| <b>S5</b>    | 5   |
| <b>Média</b> | 6   |

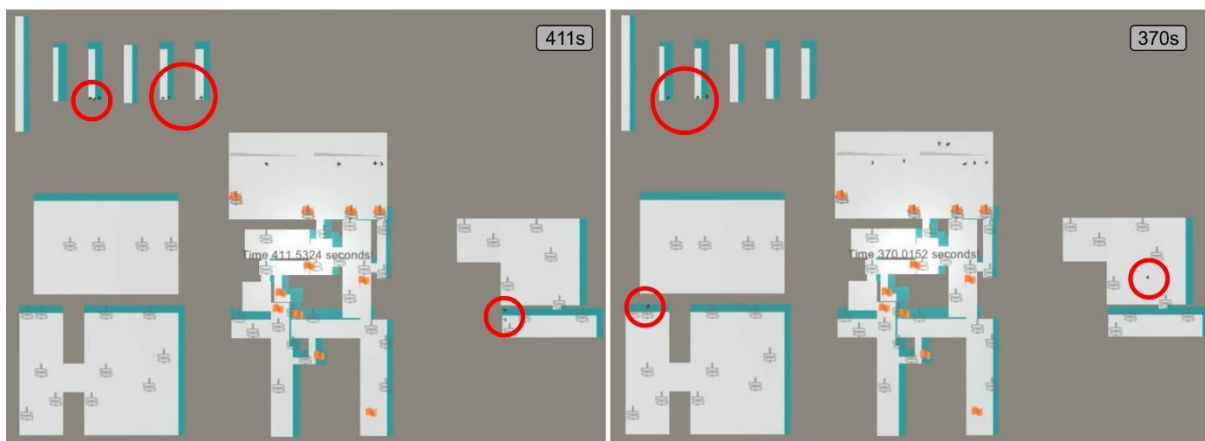
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 65 - Cenário 3 – Simulação final 1 e 2.



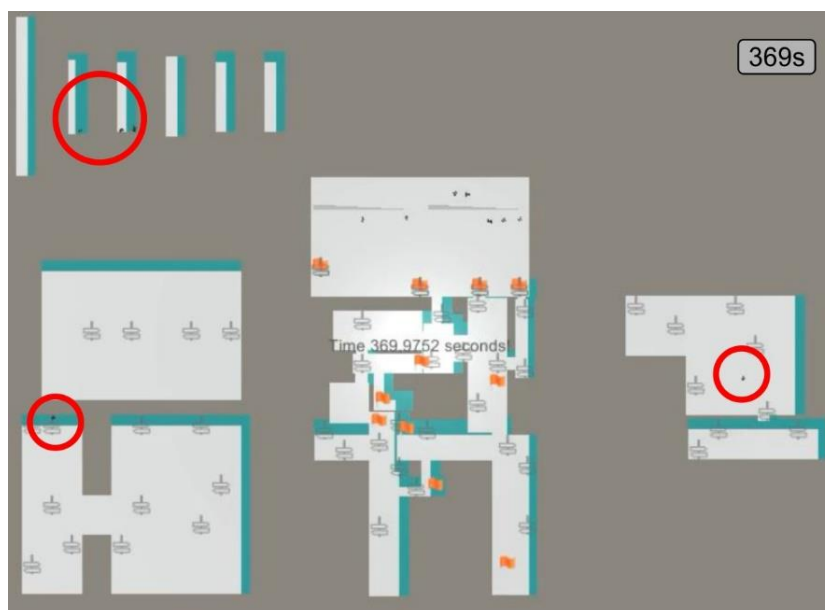
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 66 - Cenário 3 - Simulação final 3 e 4.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 67 - Cenário 3 - Simulação final 5.



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 5.2.4. Cenário 4

O último cenário corresponde a um sistema de sinalização com *appeal* zero, ou seja, representa a perda total da luminância do sinal fotoluminescente. O tempo médio

de evacuação para as simulações foi de 7 minutos e 91 segundos, aumentando em 25% o tempo de evacuação em relação ao cenário anterior (C3).

Pode-se perceber que, nos primeiros 10 segundos de simulação, os agentes conseguiram visualizar os acessos dos pavimentos e movimentam-se em direção a eles, principalmente os que estão localizados mais próximos (Figura 68). Porém, o comportamento dos mesmos não seguem as informações das sinalizações, mesmo estando dentro da área de visibilidade do sinal. Dessa forma, torna-se mais evidente o comportamento exploratório observado em Bicho, (2009), Bicho *et al.* (2012) e Mathew *et al.* (2019), ou seja, a influência de indivíduos próximos quando a sinalização não é eficiente.

Figura 68 - Cenário 4 - evacuação em 10 segundos.



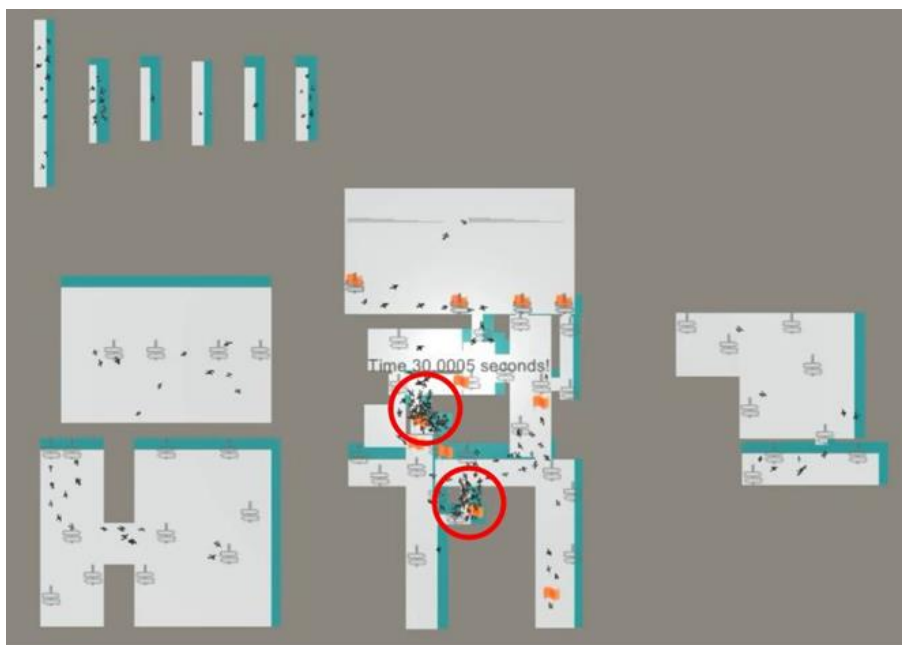
Fonte: Elaborado pelo autor.

Nessas simulações, foram identificados pelo menos dois pontos de aglomeração e alta densidade de pessoas no pavimento térreo, principalmente nos acessos das circulações verticais que dão acesso ao segundo pavimento e ao subsolo, conforme a Figura 69. Novamente, nesse ponto, formou-se o gargalo dado pelo estreitamento da passagem, reduzindo a velocidade de caminhada, contribuindo para o aumento do tempo de saída Bicho, (2009), Bicho *et al.* (2012) e Mathew *et al.*



(2019). Um deles, permanece congestionado após 1 minuto de evacuação (Figura 70).

Figura 69 - Cenário 4 - evacuação em 30 segundos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

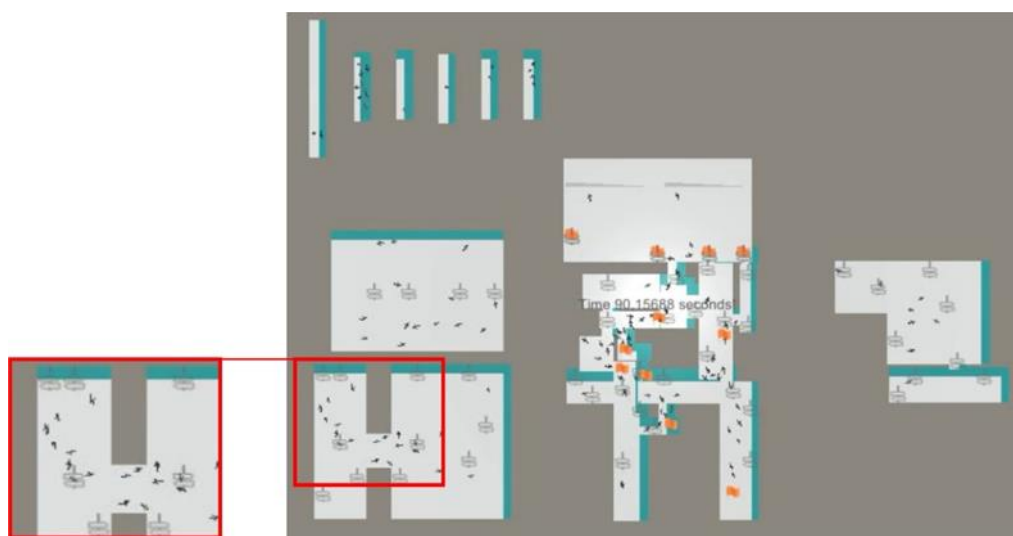
Figura 70 - Cenário 4 - evacuação em 60 segundos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

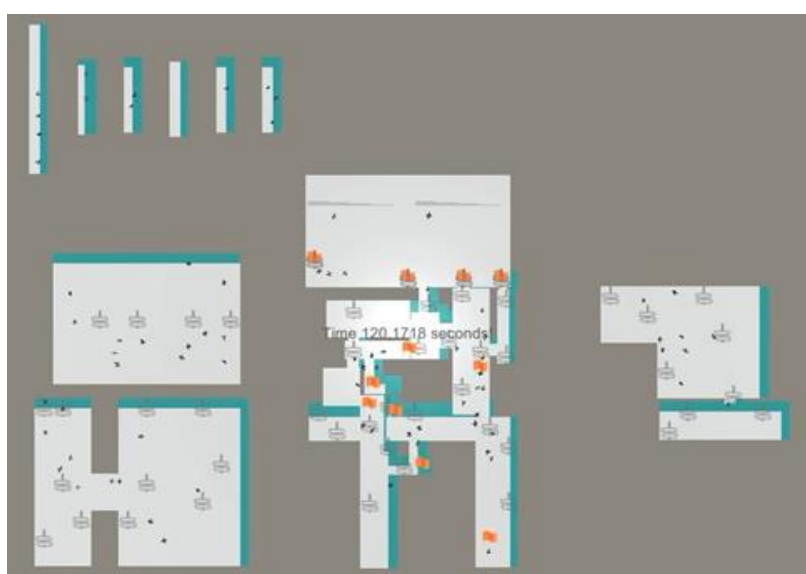
Após um minuto e meio, alguns agentes permaneceram dispersos no cenário (Figura 71). Pelo fato do sistema de sinalização não ser eficiente, algumas pessoas acessam o segundo pavimento e o subsolo, a fim de encontrar a saída da edificação. O cenário é bem similar após 2 minutos de simulação (Figura 72), em que os agentes seguem uns aos outros com o movimento exploratório, observado por Bicho, (2009), Bicho *et al.* (2012) e Mathew *et al.* (2019).

Figura 71 - Cenário 4 - evacuação em 90 segundos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

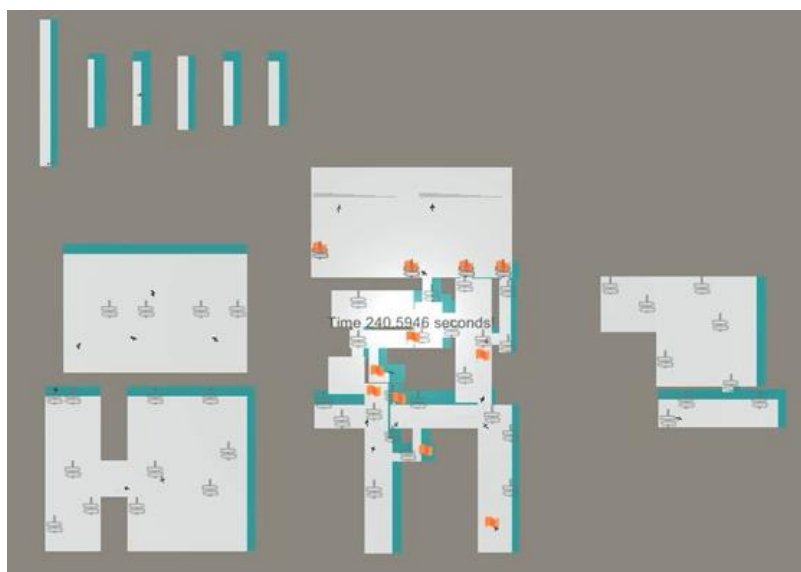
Figura 72 - Cenário 4 - evacuação em 120 segundos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após 4 minutos, alguns agentes ainda buscam sair do local. Dispersos da multidão e sem sinalização efetiva, mesmo estando próximos as saídas de emergência, os mesmos não percebem as saídas e retornam várias vezes aos ambientes (Figura 73). Esse fator também foi observado por Silva, Scholl e Adamatti (2017), quando a proximidade dos agentes pode contribuir para uma evacuação mais eficiente.

Figura 73 - Cenário 4 - evacuação em 240 segundos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como nos três últimos cenários, alguns agentes não conseguiram evacuar o local conforme mostram as Figuras 74 a 76. Esse cenário teve em média 5 mortos, segundo a Tabela 37. Da mesma forma, foi considerado como tempo total de evacuação o acesso do último agente ao *goal*/final.

Figura 74 - Cenário 4 – Simulação final 1 e 2.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 75 - Cenário 4 - Simulação 3 e 4.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 76 - Cenário 4 - Simulação 5.

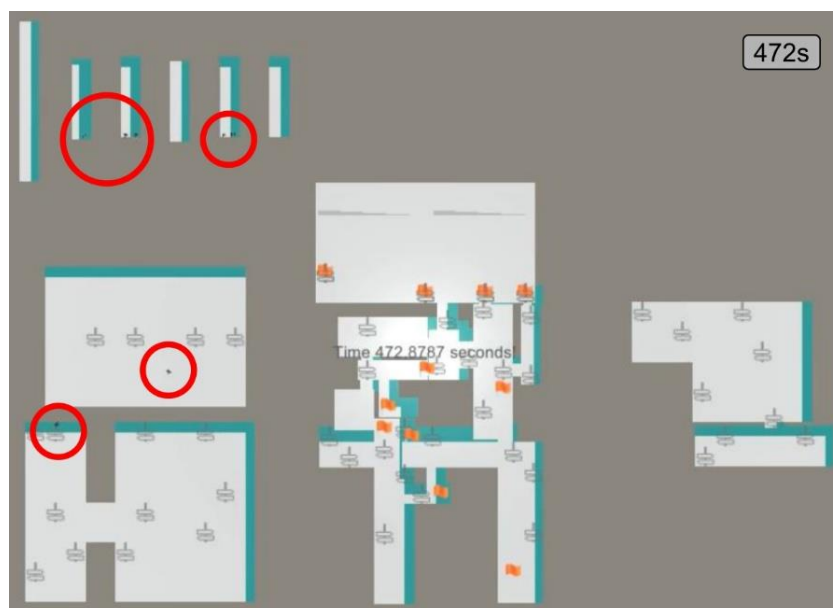


Tabela 37 - Número de agentes que não saíram do local.

| Simulações   | Número de agentes que não saíram do local |
|--------------|---|
| S1           | 4   |
| S2           | 4   |
| S3           | 4   |
| S4           | 4   |
| S5           | 7   |
| <b>Média</b> | <b>5</b>                                  |

Fonte: Elaborado pelo autor.

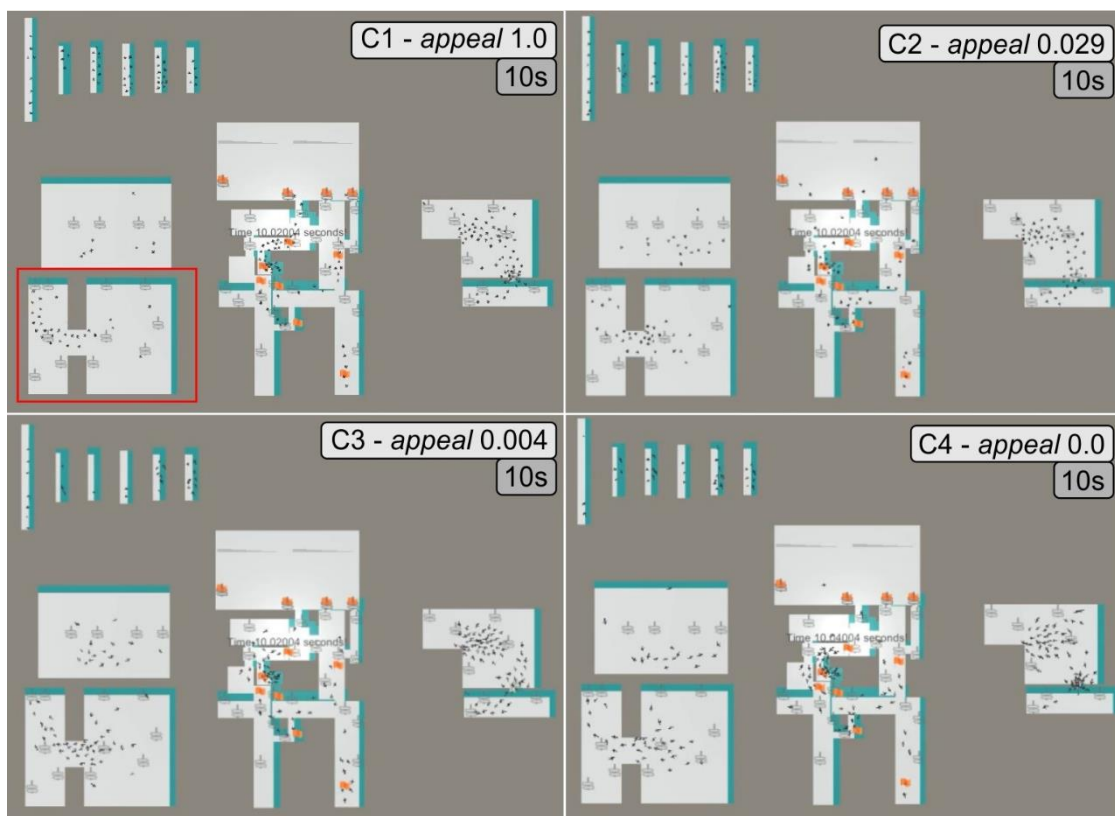
Os agentes não utilizam as rotas de fuga 3 e 4, embora as mesmas tenham sinalizações de appeal 1 nas saídas de emergência, localizadas a mais de 9 metros de distância. As rotas 1 e 2 foram as mais utilizadas.

### 5.2.5. Relação entre os cenários

Nos primeiros 10 segundos, o movimento dos agentes é similar em todos os cenários (Figura 77). Os mesmos conseguem perceber os acessos de saída dos pavimentos ou as saídas de emergência, seja pela sinalização do local ou pelo movimento dos indivíduos mais próximos. Observa-se que, no cenário 1, os indivíduos

localizados em parte do subsolo, conforme destacado na Figura 69, dirigem-se de maneira ordenada, sem dispersão até as saídas de emergência, enquanto que, nos demais cenários, os agentes apresentam-se de forma mais dispersa.

Figura 77 - Relação entre os cenários em 10 segundos de simulação.

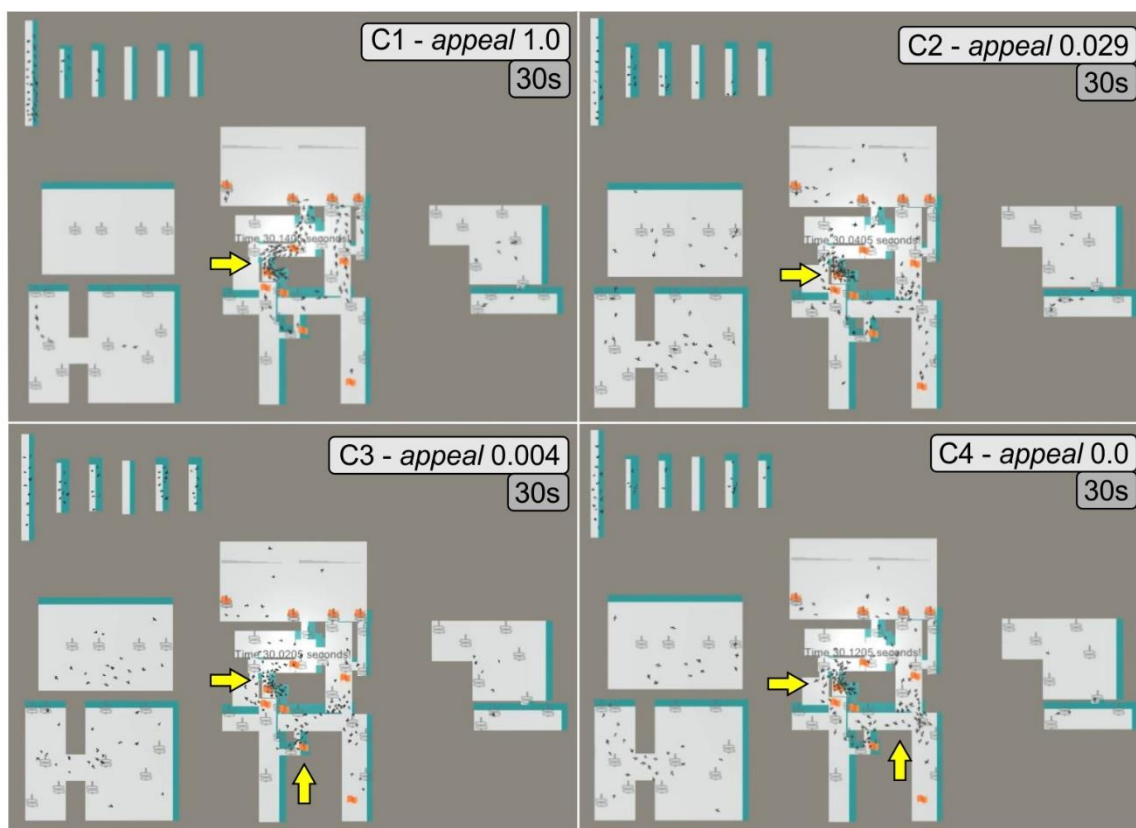


Fonte: Elaborado pelo autor.

Já aos 30 segundos, pode-se identificar os pontos de congestionamento nos acessos das circulações verticais que ligam o subsolo e o segundo pavimento, ao térreo (Figura 78). Conforme observado em Silva, Scholl e Adamatti (2017), o dimensionamento das rotas de fuga influencia o processo de evacuação, formando um gargalo dado pelo estreitamento da passagem, reduzindo a velocidade de caminhada e, conseqüentemente, aumentando do tempo de saída. Observa-se que no cenário 4 (C4), pelo fato das sinalizações fotoluminescentes perderem totalmente a capacidade de luminescente, as pessoas não conseguiram identificar as rotas de fuga a serem seguidas, adotando o movimento de outros agentes, como também identificado por Bicho, (2009), Bicho *et al.* (2012) e Mathew *et al.* (2019), formando, assim, dois pontos evidentes de aglomeração. Já no cenário 1 (C1), mesmo

apresentando esse ponto de aglomeração, os agentes conseguiram evacuar rapidamente por rotas próximas, curtas ou alternativas, devido aos sinais serem facilmente identificados, conforme observado por Filippidis *et al.* (2006) e Fu *et al.* (2018).

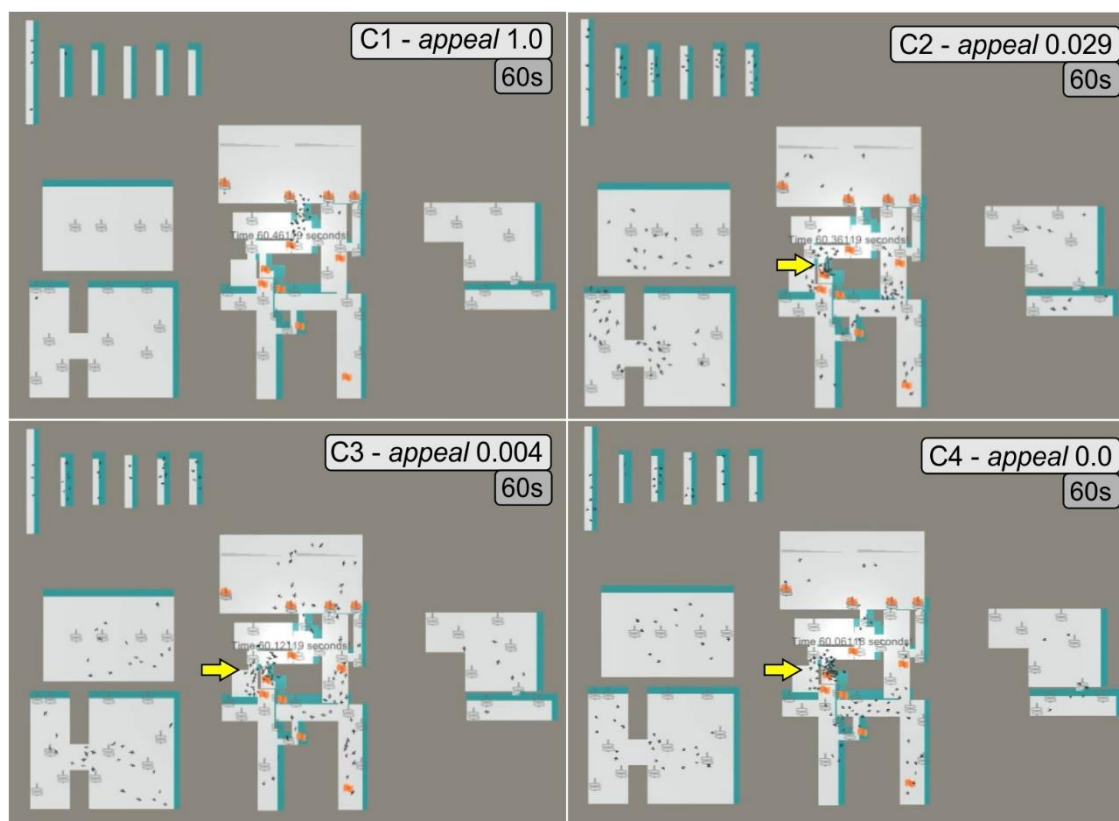
Figura 78 - Relação entre os cenários em 30 segundos de simulação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após 1 minuto de simulação, pôde-se observar que, no cenário 1 (C1), praticamente todos os agentes conseguiram deixar o local (Figura 79), evidenciando a informação obtida por Xie *et al.* (2012) e Galea, Xie e Lawrence (2014), que os sinais com luzes possuem maior capacidade de visibilidade, contribuindo para a redução do tempo de evacuação. Nos demais cenários, onde a sinalização não é completamente perceptível, permanecem os congestionamentos, principalmente na circulação vertical central (conforme indicado na Figura 71) que faz ligação do segundo pavimento e parte do subsolo, principalmente nos cenários 3 e 4.

Figura 79 - Relação entre os cenários em 60 segundos de simulação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

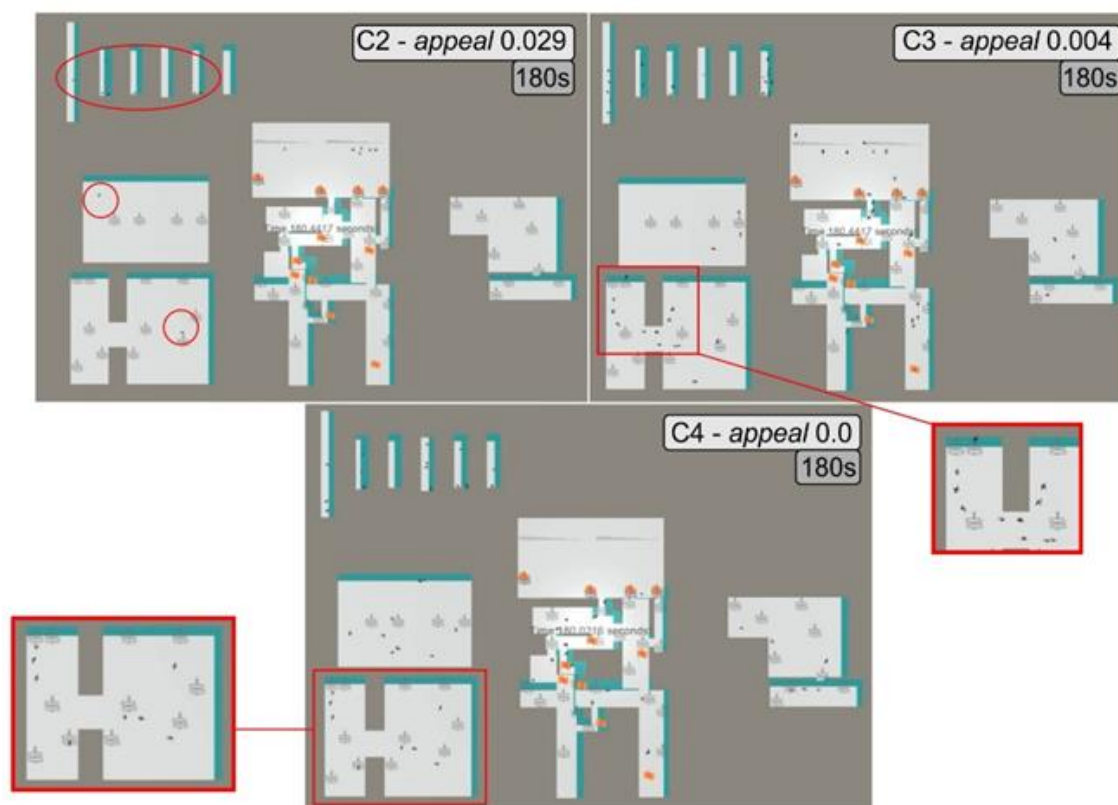
Após dois minutos de evacuação, o cenário 1, onde o sistema de sinalização é totalmente perceptível com o uso do sinal de balizamento, já havia sido desocupado. Nos demais cenários, onde o sinal é fotoluminescente, ainda pôde-se observar a dispersão dos agentes em busca da saída de emergência, pelo fato dos sinais não serem completamente visíveis.

No cenário 2 (C2), os indivíduos só conseguem perceber os sinais e identificar as informações das saídas, quando estão bem próximos a eles. Esse fator também foi observado por Xie (2011), identificando que os sinais fotoluminescentes, com o passar do tempo, perdem a área de abrangência de visibilidade, tornando-se mais difíceis de serem identificados e interpretados. Nos cenários C3 e C4, onde a sinalização não é eficiente ou praticamente inexistente, algumas pessoas acessam novamente os pavimentos do subsolo e segundo pavimento, em busca de uma saída. Nos destaques exemplificados na Figura 80, identifica-se a ocorrência de movimento exploratório ou seja, a influência do comportamento dos indivíduos mais próximos,



quando a sinalização não é eficiente, fundamentado já por Bicho, (2009), Bicho *et al.* (2012) e Mathew *et al.* (2019).

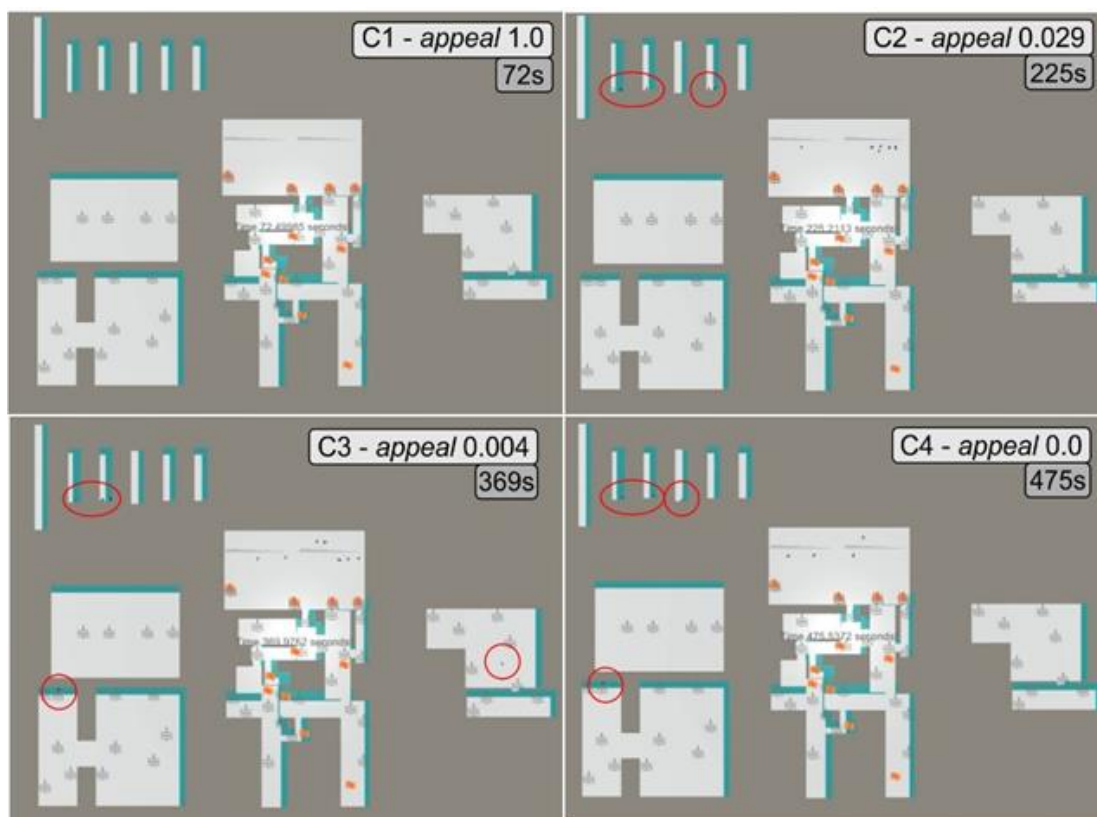
Figura 80 - Relação entre os cenários em 180 segundos de simulação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após 3 minutos de simulação (Figura 81), o cenário 2 (C2) estava praticamente desocupado, tendo seu tempo médio de evacuação de 3 minutos e 24 segundos. Já nos cenários 3 e 4, alguns indivíduos permanecem dispersos, acessando parte do subsolo e segundo pavimento, onde não há saída da edificação. Observa-se, novamente, o comportamento exploratório nos cenários C3 e C4, pelo fato do sistema de sinalização não ser eficiente, também já descrito por Bicho, (2009), Bicho *et al.* (2012) e Mathew *et al.* (2019).

Figura 81 - Relação dos cenários nos tempos finais de simulação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, pode-se identificar claramente que, no cenário 1, onde a sinalização era de balizamento, os agentes conseguiram evacuar o local totalmente em menos de 1 minuto e meio. Como no trabalho de Xie (2011), os sinais iluminados foram mais eficientes, embora ofuscados pela fumaça, apresentaram um tempo maior de visibilidade, consequentemente de orientação das pessoas, em relação aos sinais fotoluminescentes. Já nos demais cenários, que correspondem a sinalizações fotoluminescentes, os agentes demoraram mais tempo para identificar os sinais e as informações e seguir para as saídas.

Por meio das simulações realizadas, observou-se que os agentes, ao perceberem as sinalizações, agem de acordo com as informações das mesmas, direcionando às saídas de emergência mais próximas. Porém, a medida em que a placa vai perdendo sua capacidade luminosa, os agentes não compreendem as informações, mesmo estando dentro da área de visibilidade estabelecida pela sinalização referenciada, a menos que estejam muito próximos a elas. Com base no

trabalho de Xie *et al.* (2012) confirma-se a necessidade de aumentar a capacidade de percepção dos sinais convencionais, optando-se pelos sinais de balizamento. Além disso, aumentar a quantidade de sinais também pode contribuir para a redução de tempo de evacuação, desde que quando instalados, não sejam influenciados por elementos ou informações visuais alternativas que possam confundir as informações direcionais como descrevem Filippidis *et al.* (2006) e Tang, Wu e Lin (2009).

Como no estudo de Silva, Scholl e Adamatti (2017), algumas pessoas não conseguiram sair da casa noturna, mesmo com um sistema considerado ideal. Porém, a proximidade dos agentes contribuiu para redução de pessoas presas no local. No *BioCrowds*, o comportamento exploratório descrito por Bicho, (2009), Bicho *et al.* (2012) e Mathew *et al.* (2019), o movimento de indivíduos próximos é replicado, também contribuiu para que poucas pessoas ficassem presas, mesmo quando as sinalizações não eram tão eficientes.

## Capítulo 6

# CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos acidentes em casas noturnas ocorridos não só no Brasil, mas em vários países do mundo, percebeu-se a importância de reavaliar as questões referentes à segurança contra incêndio para esses locais. Portanto, este trabalho objetivou avaliar, por meio de simulações computacionais, a eficiência das prescrições normativas da ABNT NBR 13434 (ABNT, 2004a, 2004b, 2018) e ABNT NBR 10898 (ABNT, 2013), referente aos sinais de orientação e salvamento em rotas de fuga em um modelo de casa noturna.

Pode-se concluir que as sinalizações de emergência são elementos fundamentais na orientação das pessoas na necessidade de evacuação em uma situação de emergência, principalmente para aquelas que não são familiarizadas com o local. Locais de grande público permitem que as pessoas que estão localizadas próximas aos sinais consigam perceber as direções das rotas de fuga e direcionem a multidão para as saídas corretas.

Para ambientes confinados e de baixa luminosidade, como as casas noturnas, pôde-se observar, por meio das simulações computacionais, que as sinalizações de balizamento são mais eficientes do que as sinalizações fotoluminescentes. Os resultados da presente pesquisa puderam ser comparados a um exercício de simulação real e simulação computacional, conforme descrito na pesquisa de Cassol (2016), a fim de avaliar a real influência dos sinais no processo de evacuação.

Assim, quando a sinalização é completamente perceptível, representada pelas sinalizações de balizamento, pode-se concluir que os agentes, confinados em um ambiente de baixa luminosidade, conseguem visualizar os sinais mais rapidamente, mesmo não estando tão próximos a eles. Além disso, os sinais de balizamento mantêm a luminância constante, ou seja, mantêm sua capacidade de visibilidade durante todo o evento, contribuindo com a eficiência da evacuação em qualquer horário no caso da ocorrência de um sinistro.

Também, os sinais de balizamento mostraram-se mais eficientes do que um processo de evacuação conduzido por outras pessoas, em que foi utilizado o mesmo número de pessoas e mesma velocidade de deslocamento. Pode-se supor que, pelo fato dos sinais estarem distribuídos em todo o ambiente, as pessoas facilmente conseguem identificar a rota de fuga a seguirem, independentemente de sua posição no ambiente. Já em um processo guiado, as pessoas treinadas precisam ser informadas da ação e se posicionarem nos locais corretos. Além disso, acabam conduzindo primeiramente as pessoas próximas a elas, levando um tempo maior para orientar toda a multidão até as saídas de emergência.

As sinalizações fotoluminescentes possuem a característica de atenuação na luminância conforme o tempo sem uma iluminação adequada, esse fator pode ser determinante na escolha de um sistema de sinalização para espaços lotados. Observou-se, ainda, que a atenuação da capacidade luminescente desses sinais influenciou diretamente no tempo de evacuação dos agentes, mesmo estando de acordo com os padrões de luminância determinados pelas normas.

Com base nos resultados obtidos nas simulações computacionais, percebeu-se que os sistemas fotoluminescentes podem não ser tão eficientes quanto um processo guiado de evacuação. Se os sinais fotoluminescentes não estiverem operando em sua capacidade máxima, podem contribuir para situações indesejáveis conforme a atenuação da luminância.

Constatou-se, também, que quando os sinais operam na sua capacidade máxima, os agentes conseguem perceber as informações quando acessam as áreas de visibilidade dos mesmos. No entanto, quando os sinais começam a perder a luminância, mesmo as pessoas estando dentro da área de visibilidade dos sinais, não conseguem compreender as informações, resultando em um tempo maior de evacuação. Ademais, a perda total da capacidade luminescente dos sinais, sendo similar a um cenário sem sinalizações, fez com que os agentes adotassem o comportamento dos agentes mais próximos a eles, na exploração do local em busca da saída de emergência mais próxima, principalmente por considerar que os mesmos não eram familiarizados com o local. Portanto, a falta de um sistema de sinalização adequado, visível durante todo o evento, contribui para o aumento do tempo de evacuação podendo ser, em alguns casos, fatal.

Por esse motivo, é importante que as sinalizações de balizamento sejam prescritas não só em casas noturnas, mas para outros locais como cinemas, auditórios, edifícios garagem, casas de festas, entre outros, onde a iluminação natural ou artificial não sejam suficientes ou permanentes, para garantir a intensidade luminosa do sinal fotoluminescente. Além disso, a visibilidade permanente dos sinais proporcionam maior segurança para as pessoas a qualquer hora de ocorrência de um sinistro. Os sinais fotoluminescentes são propensos ao ofuscamento conforme a atenuação da iluminação, além de necessitarem de manutenções periódicas como a limpeza das placas, para que mantenham suas características de visibilidade em situações de emergência.

Por fim, por meio deste estudo, verificou-se a importância das simulações computacionais na avaliação dos sistemas de segurança para as edificações, como por exemplo a elaboração de planos de segurança mais eficientes. As simulações permitem aproximar possíveis situações de emergência à realidade, incluindo a avaliação de soluções prescritas pelas normas de segurança às edificações, mesmo antes de serem construídas. Conforme a necessidade de cada projeto, há que se explorar ao máximo todos os condicionantes que possam ocasionar transtornos em caso de incêndio, sem colocar em risco a vida dos ocupantes, principalmente quando se trata de locais com grande número de pessoas.

## **6.1. ESTUDOS FUTUROS**

Para a continuidade do estudos, sugere-se:

- Propor a avaliação de um sistema de sinalização controlável a distância, ou seja, um sistema dinâmico que possa fornecer as informações sobre alterações de rota de fuga durante um processo de evacuação, conforme item 5.1.2.4 (ABNT, 2013)
- Incluir outros condicionantes que possam influenciar o comportamento humano frente a situações de incêndio como, por exemplo, a fumaça. A questão da perda da visibilidade do ambiente e dos efeitos fisiológicos causados pela exposição de gases tóxicos pode contribuir no aumento do tempo de evacuação.

- Propor a avaliação da influência da ingestão de bebidas alcoólicas por parte dos ocupantes, de modo a verificar o quanto esses fatores também podem interferir no aumento dos tempos de evacuação, para ambientes como as casas noturnas ou outros lugares onde haja reunião de público.
- Comparar os tempos de evacuação obtido nos resultados desta pesquisa por meio de outros *softwares* de evacuação.
- Avaliar a variação da quantidade de sinais no ambiente.
- Verificar o tempo de evacuação no caso dos agentes receberem treinamento prévio de evacuação.
- Verificar o tempo de evacuação, considerando a capacidade máxima da casa noturna.

## REFERÊNCIAS

ABOLINS, H. A.; BIANCHINI, F. J.; NOMELLINI, L. H. Saídas de emergências em edificações. *In*: SEITO, A. I. et al. **A Segurança Contra Incêndio no Brasil**. São Paulo, SP: Projeto Editora, 2008. p. 101-121. Disponível em: <[http://www.ccb.policiamilitar.sp.gov.br/icb/wp-content/uploads/2017/02/aseguranca\\_contra\\_incendio\\_no\\_brasil.pdf](http://www.ccb.policiamilitar.sp.gov.br/icb/wp-content/uploads/2017/02/aseguranca_contra_incendio_no_brasil.pdf)>. Acesso em: 07 set. 2018.

ARAUJO, J. M. F. Comportamento humano em incêndios. *In*: SEITO, A. I. et al. **A Segurança Contra Incêndio no Brasil**. São Paulo, SP: Projeto Editora, 2008. p. 93-100. Disponível em: <[http://www.ccb.policiamilitar.sp.gov.br/icb/wp-content/uploads/2017/02/aseguranca\\_contra\\_incendio\\_no\\_brasil.pdf](http://www.ccb.policiamilitar.sp.gov.br/icb/wp-content/uploads/2017/02/aseguranca_contra_incendio_no_brasil.pdf)>. Acesso em: 07 set. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9077**: Saídas de emergência em edifícios. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10898**: Sistema de Iluminação de Emergência. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13434-1**: Sinalização de Segurança Contra Incêndio e Pânico: Parte 1: Princípios de projeto. Rio de Janeiro, 2004a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13434-2**: Sinalização de Segurança Contra Incêndio e Pânico: Parte 2: Símbolos e suas formas, dimensões e cores. Rio de Janeiro, 2004b.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13434-3**: Sinalização de Segurança Contra Incêndio e Pânico: Parte 3: Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2018.

BASSI, et al. Atendimento às vítimas de lesão inalatória por incêndio em ambiente fechado: o que aprendemos com a tragédia de Santa Maria. **Revista Brasileira de Terapia Intensiva**. v.26, n.4, p. 421- 429, out. 2014.

BICHO, A. L. **Da modelagem de Plantas à Dinâmica de Multidões: Um Modelo de Animação Comportamental Bio-inspirado**. 2009. 122 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica)–Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. 2009.

BICHO, A. L. et al. Simulating Crowds Based on a Space Colonization Algorithm. **Computers & Graphics**. v. 36, p. 70-79, 2012.

BRASIL. Lei nº 13.425, de 30 de março de 2017. Estabelece diretrizes gerais sobre medidas de prevenção e combate a incêndio e a desastres em estabelecimentos, edificações e áreas de reunião de público; altera as Leis nºs 8.078, de 11 de setembro de 1990, e 10.406, de 10 de janeiro de 2002 – **Código Civil**; e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2017/lei/L13425.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/L13425.htm)>. Acesso em: 20 ago. 2018.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. **BS 5499-1**: Safety signs Part 4 - Code of practice for escape route signing. Inglaterra: British Standard Institution, 2002.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. **BS 5499-4**: Safety signs Part 4 - Code of practice for escape route signing. Inglaterra: British Standard Institution, 2000.

CARLO, U. A segurança contra incêndio no mundo. *In*: SEITO, A. I. et al. **A Segurança Contra Incêndio no Brasil**. São Paulo, SP: Projeto Editora, 2008. p. 1-7. Disponível em: <[http://www.ccb.policiamilitar.sp.gov.br/icb/wpcontent/uploads/2017/02/aseguranca\\_contra\\_incendio\\_no\\_brasil.pdf](http://www.ccb.policiamilitar.sp.gov.br/icb/wpcontent/uploads/2017/02/aseguranca_contra_incendio_no_brasil.pdf)>. Acesso em: 07 set. 2018.

CASSOL, V. J. et al. CrowdSim: Uma Ferramenta Desenvolvida para Simulação de Multidões. **SBC - Proceedings of SBGames**. Military Simulation Workshop. Brasília, DF. 2012.

CASSOL, V. J. Crowdsim: A Framework to Estimate Safety of Egress Performance in Real Life Scenarios. 2016. 142 f. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 2016.

CASSOL, V. J. et al. Evaluating and Optimizing Evacuation Plans for Crowd Egress. Animation of Natural Virtual Characters. **IEEE Computer Society**. n.17, p. 0272-1716, jul./ago., 2017.

CASSOL, V. J.; OLIVEIRA, J.; MUSSE, S. R. Analyzing Egress Accuracy through the Study of Virtual and Real Crowds. **IEEE Virtual Humans and Crowds for Immersive Environments (VHCIE)**. Greenville, SC, USA. 2016.

COLLINS, B. L. Visibility of Exit Signs and Directional Indicators. **Journal of the Illuminating Engineering Society**. v.20, n.1, p. 117-133, 1991.

CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DO RIO GRANDE DO SUL – CREA. Serviço Público Federal – Órgão de Fiscalização da Engenharia e da Agronomia. Comissão de Especialistas constituída pelo CREA-RS. **Apresentação do Relatório Técnico – Incêndio Boate Kiss**. Porto Alegre, RS, 04 fev. 2013.

COSTA, R. F.; PINHEIRO, P. C. Simulação de Emergência: Modelo para Evacuação em Locais de Grande Público. Competência: **Revista da Educação Superior Senac - RS**. v.11, n.1, p. 1-7, jul. 2018.

CUNHA, L. L.; MARTINELLI JR. R. H. Sistema de controle de fumaça. *In*: SEITO, A. I. et al. **A Segurança Contra Incêndio no Brasil**. São Paulo, SP: Projeto Editora, 2008. p. 257-275. Disponível em: <[http://www.ccb.policiamilitar.sp.gov.br/icb/wp-content/uploads/2017/02/aseguranca\\_contra\\_incendio\\_no\\_brasil.pdf](http://www.ccb.policiamilitar.sp.gov.br/icb/wp-content/uploads/2017/02/aseguranca_contra_incendio_no_brasil.pdf)>. Acesso em: 07 set. 2018.

D'AGOSTINI, D. **Design de Sinalização**. São Paulo: Edgar Blucher, 2017. 368 p.

DUBOWSKI, K. M. **Manual of Analysis of Ethanol in Biological Liquids**. 1977. 125 p. University of Oklahoma Health Sciences Center – College of Medicine. Oklahoma, 1977.

ESTADO RIO GRANDE DO SUL. Polícia Civil. Departamento de Polícia do Interior. 1ª Delegacia de Polícia de Santa Maria-RS. **Relatório Final**. 2013.188 p.

ESTADO RIO GRANDE DO SUL. Lei Complementar n.º 14.924, de 22 de setembro de 2016. Estabelece diretrizes gerais sobre medidas de prevenção e combate a incêndio e a desastres em estabelecimentos, edificações e áreas de reunião de público; Alteração da Lei Complementar n.º 14.376, de 26 de Dezembro de 2013. 6 p.

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Segurança Pública. Secretaria da Segurança Pública. Corpo de Bombeiros Militar do Rio Grande do Sul. Departamento de Segurança, Prevenção e Proteção Contra Incêndio. Resolução Técnica CBMRS n.º 5 - Parte 1.1. Processo de Segurança Contra Incêndio: Plano de Prevenção e Proteção Contra Incêndio na Forma Completa. 2016a.

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Segurança Pública. Secretaria da Segurança Pública. Corpo de Bombeiros Militar do Rio Grande do Sul. Departamento de Segurança, Prevenção e Proteção Contra Incêndio. Resolução Técnica CBMRS n.º 11 - Parte 01. Saídas de Emergência. 2016b.

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Segurança Pública. Secretaria da Segurança Pública. Corpo de Bombeiros Militar do Rio Grande do Sul. Departamento de Segurança, Prevenção e Proteção Contra Incêndio. Resolução Técnica CBMRS n.º 5 - Parte 04A. Processo de Segurança Contra Incêndio: Eventos Temporários. 2017a.

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Segurança Pública. Secretaria da Segurança Pública. Corpo de Bombeiros Militar do Rio Grande do Sul. Departamento de Segurança, Prevenção e Proteção Contra Incêndio. Resolução Técnica de Transição, 2017b.

FILIPPIDIS, L. et al. Representing the Influence of Signage on Evacuation Behavior within an Evacuation Model. **Journal of Fire Protection Engineering**. v.16, p. 37–73, 2006.

FRANA, G. V. **Medicina Legal**. 11. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan Ltda, 2017.

FU, L. et al. The Influence of Emergency Signage on Building Evacuation Behavior: An Experimental Study. **Fire and Materials**. v.43, p. 22-33, 2019.

GALEA E. R. et al. Coupled Fire/Evacuation Analysis of the Station Nightclub Fire. Fire Safety Engineering Group. The University of Greenwich. Fire Safety Science–Proceedings of the Ninth International Symposium. p. 465-476, 2008.

GALEA E. R. et al. An International Survey and Full-Scale Evacuation Trial Demonstrating the Effectiveness of the Active Dynamic Signage System Concept. Special Issue Paper. **Fire and Materials**. v.41, p. 493-513, 2017.

GALEA, E. R.; XIE, H.; LAWRENCE, P. J. Experimental and Survey Studies on the Effectiveness of Dynamic Signage Systems. **Fire Safety Science-proceedings of the Eleventh International Symposium**. International Association for Fire Safety Science/ DOI: 10.3801/IAFSS.FSS.11-1129, p. 1.129-1.143, 2014.

GILL, A. A.; LEAL, O. L. Processo de elaboração de plano de emergência. *In*: SEITO, A. I. et al. **A Segurança Contra Incêndio no Brasil**. São Paulo, SP: Projeto Editora, 2008. p. 311-331. Disponível em: <[http://www.ccb.policiamilitar.sp.gov.br/icb/wp-content/uploads/2017/02/aseguranca\\_contra\\_incendio\\_no\\_brasil.pdf](http://www.ccb.policiamilitar.sp.gov.br/icb/wp-content/uploads/2017/02/aseguranca_contra_incendio_no_brasil.pdf)>. Acesso em: 07 set. 2018.

GOUVEIA, A. M. C.; ETRUSCO, P. Tempo de escape em edificações: os desafios do modelamento de incêndio no Brasil. REM: **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v.55, n.4, p. 257-261, out./dez. 2002.

GRAGNANI, A. et al. Response and Legislative Changes After the Kiss Nightclub Tragedy In Santa Maria/RS/Brazil: Learning From a Large-Scale Burn Disaster. **Burns**. v. 43, p. 343-349, mar. 2017.

GROSSHANDLER, W. et al. **Report of the Technical Investigation of The Station Nightclub Fire**. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, EUA, NISTIR NCSTAR 2: Vol. I, 2005. Disponível em: <nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/NCSTAR/ncstar2v1.pdf>. Acesso em: 03 nov. 20018.

HAGHANI, M.; SARVI, M. Crowd Behaviour and Motion: Empirical Methods. **Transportation Research Part B**. v.107, p. 253–294, 2018.

HENNEMANN, G. et al. Modelling The Influence Of Crowd Control Railings On The Kiss Nightclub Evacuation. **Fire Research**. v.2, n.49. jun. 2018.

HSJ EQUIPAMENTOS DE SEGURANÇA. **Placa Sinalização / Placa Balizamento**. Disponível em: <<https://www.hsj.com.br/conteudo.php?id=65>>. Acesso em: 8 jan. 2020.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 8421-1**: Fire protection — Vocabulary — Part 1: General Terms and Phenomena of Fire. Switzerland, 1987.

JIN, T. et al. Studies on Human Behavior and Tenability in Fire Smoke. **Fire Safety Science**. Proceedings of the Fifth International Symposium, Toranomon, Minato-ku, Tokyo, Japan. p. 3-21, 1997.

KINATEDER, M.; COMUNALE, B.; WARREN, W. H. Exit Choice in an Emergency Evacuation Scenario is Influenced by Exit Familiarity and Neighbor Behavior. **Safety Science**. v. 106, p. 170-175, 2018.

KINATEDER, M. et al. Virtual Reality for Fire Evacuation Research. 2014.

KOBES, M. et al. Building safety and human behaviour in fire: A literature review. **Fire Safety Journal**. v.45, n.1. p.1-11, jan. 2010a.

KOBES, M. et al. Way finding during fire evacuation; an analysis of unannounced fire drills in a hotel at night. **Building and Environment**. v.45, p. 537-548, jan. 2010b.

KORHONEN, T. Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS + Evac: Technical Reference and User's Guide: FDS 6.6.0, Evac 2.5.2, DRAFT. **VTT Technical Research Centre of Finland**. 2018.

LUZ NETO, M. A. **Condições de Segurança contra incêndio**. 1. ed. Brasília: Ministério da Saúde, 1995. Disponível em: <<http://anvisa.gov.br/servicosaude/manuais/incendio.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2018.

MACHADO, R.; ANDERSON, M. Emergency Situations in Nightclubs: A Discussion on How to Improve the Fire Safety Strategies Through The Use of Evacuation Modeling Analysis. **Pedestrian and Evacuation Dynamics**. Springer Science+Business Media, LLC, 2011.

MATHEW, T. et al. Urban Walkability Design Using Virtual Population Simulation. **Computer Graphics Forum**. v.38, n.1, p. 455-469, 2019.

MITIDIERI, M. L. O comportamento dos materiais e componentes construtivos diante do fogo – reação ao fogo. *In*: SEITO, A. I. et al. **A Segurança Contra Incêndio no Brasil**. São Paulo, SP: Projeto Editora, 2008. p. 55-75. Disponível em: <<http://www.ccb.policiamilitar.sp.gov.br/icb/wp->

content/uploads/2017/02/aseguranca\_contra\_incendio\_no\_brasil.pdf>. Acesso em: 07 set. 2018.

MUSSE, S.R.; CASSOL, V. **Simulação de Multidões - Aplicações em Segurança e Conforto de Pessoas**. In: DELICATO, F. C. et al. (Org.) JAI – Jornadas de Atualização em Informática. São Paulo, SP, p. 12-42, 2017.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. **NFPA 101**. Life Safety Code. United States, 2018. 569 p. Disponível em: <<https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=101>>. Acesso em: 05 dez. 2018.

NATIONAL STANDARD OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA. **GB 50016**. Code for Fire Protection Design of Buildings. China Planning Press. Beijing, 2014.

NEGRISOLO, W. **Arquitetando a segurança contra incêndio**. 2011. 447 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo)–Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2011.

OLANDER, et al. Dissuasive exit signage for building fire evacuation. **Applied Ergonomics**. v.59, p. 84-93, 2017.

ONO, R. Parâmetros para garantia da qualidade do projeto de segurança contra incêndio em edifícios altos. **Ambiente Construído: Porto Alegre**, v.7, n.1, p. 97-113, jan/mar. 2007.

PASQUALOTO, A. S. et al. Perfil Epidemiológico, Sinais e Sintomas Respiratórios de Indivíduos que Inalaram Fumaça Tóxica no Incêndio da Boate Kiss, Santa Maria, RS, Brasil. **ConScientiae Saúde**. v.4, n.2, p. 229-235, dez. 2015.

PODER JUDICIAL DE LA NACIÓN. **Uso Oficial**. Buenos Aires, 19 de agosto de 2009. Parte 1. 2.451p. Disponível em: <<https://www.pjn.gov.ar/index.asp?id=31>>. Acesso em: 05 dez. 2018.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. Secretaria Municipal de Administração. Coordenação da Documentação. **Número do Processo 002.273519.00.9; 002.050210.17.3.** v.1. 200-?.

QUEIROZ, N. F. **Evacuation Analysis of the Kiss Nightclub Disaster.** 2018. 94 p. Dissertação (Master of Science in Fire Safety Engineering) – Faculty of Engineering and Architecture, 2018.

REA, M. S.; OUELLETTE, M. J.; CLARK, F. R. S. Design Considerations for Egress Signs Based Upon Visibility Through Smoke. **National Research Council Canada.** Division of Building Research. p. 295 - 297. 2010.

RICHARDSON, O.; JALBA, A.; MUNTEAN, A. Effects of Environment Knowledge in Evacuation Scenarios Involving Fire and Smoke: A Multiscale Modelling and Simulation Approach. **Fire Technology.** 2018.

RODRIGUES, E. E. C. **Sistema de Gestão da Segurança contra Incêndio e Pânico nas Edificações: Fundamentação para uma Regulamentação Nacional.** 2016. 168 f. Tese (Engenharia Civil)–Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2016.

RODRIGUES, E. C.; RODRIGUES, J. P. C. SILVA FILHO, L. C.P. Comparative Study of Building Fire Safety Regulations in Different Brazilian States. **Jornal of Building Engineering.** v.10, p. 102-108, 2017.

RONCHI, E. et al. New Approaches to Evacuation Modelling for Fire Safety Engineering Applications. **Fire Safety Journal.** v. 106, p. 197-209, 2019.

ROZO, K. R. et al. Modelling Building Emergency Evacuation Plans Considering the Dynamic Behaviour of Pedestrians Using Agent-Based Simulation. **Safety Science.** v.113, p. 276-284, 2019.



SILVA, D. P. A. **Sinalização de Emergência: Parâmetros de Visibilidade e Aprimoramento do Processo de Projeto.** 70 f. Tese (Doutorado Arquitetura e Urbanismo)–Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2019.

SILVA, V. M.; SCHOLL, M. V.; ADAMATTI, D. F. Simulação Multiagente da Evacuação da Boate Kiss: A Importância da NBR 9.077 e sua Relação com o ‘Pânico’. **Revista de Informática Teórica e Aplicada** (Online). Porto Alegre, v. 24, n. 2, p. 101-111, 2017.

SILVEIRA, A. C. M (Org.). **Mediatização da Tragédia de Santa Maria.** Santa Maria: Facos – UFSM. 2014.

SIME, J. D. An Occupant Response Shelter Escape Time (ORSET) Model. **Safety Science.** v.38, p. 109-125, 2001.

SOUZA, R. et al. Lesão por inalação de fumaça: Artigo de Revisão. **Jornal Brasileiro de Pneumologia.** São Paulo, v.30, n. 6, p. 557-565, 2004.

TANG, C.; WU, W.; LIN, C. Using Virtual Reality to Determine How Emergency Signs Facilitate Way-Finding. **Applied Ergonomics.** v.40, p. 722-730, 2009.

THALMANN, D.; MUSSE, S. R. **Crowd Simulation.** 1st ed. Springer-Verlag. 2007.

TAVARES, R. M. An Analysis of the Fire Safety Codes in Brazil: Is the Performance-Based Approach the Best Practice? **Fire Safety Journal.** v.44, p. 749-755, 2009.

TEIXEIRA, V. C. **Estudo da Segurança Contra Incêndio e Pânico nas Edificações Urbanas: Boates e Clubes Sociais.** 2013. 173 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2013.

THOMPSON, P. A.; MARCHANT, E. W. A Computer Model for the Evacuation of Large Building Populations. **Fire Safety Journal.** v.24, p. 131-148, 1995.

THUNDERHEAD ENGINEERING. **Thunderhead Engineering Consultants Inc.** Pathfinder. 2019. Disponível em:< <https://www.thunderheadeng.com/pathfinder/>>. Acesso em: 30 out. 2019.

TISUE, S.; WILENSKY, U. NetLogo: A Simple Environment for Modeling Complexity. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling Northwestern University, Evanston, Illinois. **Presented at the International Conference on Complex Systems**, Boston. p. 16–21, 2004a.

TISUE, S.; WILENSKY, U. NetLogo: Design and Implementation of a Multi-Agent Modeling Environment. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling Northwestern University, Evanston, Illinois. **Conference on Social Dynamics: Interaction, Reflexivity and Emergence**, Chicago, IL. P. 1-20, 2004b.

VALENTIN, M.; ONO, R. Saídas de Emergência e Comportamento Humano: Uma Abordagem Histórica e o Estado Atual da Arte no Brasil. **Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – NUTAU** 2006. São Paulo, 2006.

XIE, H. **Investigation Into the Interaction of People With Signage Systems and its Implementation Within Evacuation Models**. 2011. 302 f. Thesis (Doctor Philosophy)-University of Greenwich. London, UK, 2011.

XIE, H. et al. Experimental analysis of the effectiveness of emergency signage and its implementation in evacuation simulation. **Fire and Materials: Special Issue Paper**. Fire Mater. v.36. p. 367-382, 2012.

ZHANG, L. et al. Modeling and analyzing 3D complex building interiors for effective evacuation simulations. **Fire Safety Journal**, v. 53, p. 1 – 12, 2012.

ZHANG, Z.; L. JIA; Y. QIN, Optimal Number and Location Planning of Evacuation Signage in Public Space. **Safety Science**, v. 91, p. 132–147, 2017.



**Apêndice A**

**PPCI DA BOATE SANTA MÔNICA**

Arquivo em anexo.





**Apêndice B****LOCALIZAÇÃO DAS SINALIZAÇÕES NAS CÉLULAS  
DO MODELO**
















Figura 82 - Indicação dos sinais nas células do modelo no pavimento subsolo.

|          |            |            |            |             |             |             |             |             |             |
|----------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| cell1-17 | cell3-32.5 | cell7-32.5 | cell9-32.5 | cell11-32.5 | cell13-32.5 | cell15-32.5 | cell17-32.5 | cell19-32.5 | cell21-32.5 |
| cell1-15 | cell3-30.5 | cell7-30.5 | cell9-30.5 | cell11-30.5 | cell13-30.5 | cell15-30.5 | cell17-30.5 | cell19-30.5 | cell21-30.5 |
| cell1-13 | cell3-28.5 | cell7-28.5 | cell9-28.5 | cell11-28.5 | cell13-28.5 | cell15-28.5 | cell17-28.5 | cell19-28.5 | cell21-28.5 |
| cell1-11 | cell3-26.5 | cell7-26.5 | cell9-26.5 | cell11-26.5 | cell13-26.5 | cell15-26.5 | cell17-26.5 | cell19-26.5 | cell21-26.5 |
| cell1-9  | cell3-24.5 | cell7-24.5 | cell9-24.5 | cell11-24.5 | cell13-24.5 | cell15-24.5 | cell17-24.5 | cell19-24.5 | cell21-24.5 |
| cell1-7  | cell3-22.5 | cell7-22.5 | cell9-22.5 | cell11-22.5 | cell13-22.5 | cell15-22.5 | cell17-22.5 | cell19-22.5 | cell21-22.5 |
| cell1-5  | cell3-20.5 | cell7-20.5 | cell9-20.5 | cell11-20.5 | cell13-20.5 | cell15-20.5 | cell17-20.5 | cell19-20.5 | cell21-20.5 |
| cell1-3  | cell3-17   | cell7-17   | cell9-17   | cell10-17   | cell12-17   | cell14-17   | cell16-17   | cell18-17   | cell20-17   |
| cell1-1  | cell3-15   | cell7-15   | cell9-15   | cell10-15   | cell12-15   | cell14-15   | cell16-15   | cell18-15   | cell20-15   |
|          | cell3-13   | cell7-13   | cell9-13   | cell10-13   | cell12-13   | cell14-13   | cell16-13   | cell18-13   | cell20-13   |
|          | cell3-11   | cell7-11   | cell9-11   | cell10-11   | cell12-11   | cell14-11   | cell16-11   | cell18-11   | cell20-11   |
|          | cell3-9    | cell7-9    | cell9-9    | cell10-9    | cell12-9    | cell14-9    | cell16-9    | cell18-9    | cell20-9    |
|          | cell3-7    | cell7-7    | cell9-7    | cell10-7    | cell12-7    | cell14-7    | cell16-7    | cell18-7    | cell20-7    |
|          | cell3-5    | cell7-5    | cell9-5    | cell10-5    | cell12-5    | cell14-5    | cell16-5    | cell18-5    | cell20-5    |
|          | cell3-3    | cell7-3    | cell9-3    | cell10-3    | cell12-3    | cell14-3    | cell16-3    | cell18-3    | cell20-3    |
|          | cell3-1    | cell7-1    | cell9-1    | cell10-1    | cell12-1    | cell14-1    | cell16-1    | cell18-1    | cell20-1    |

Fonte: Elaborado pelo autor.



Tabela 38 - Células correspondentes as sinalizações.

| Células     | Sinais  | Sentido da Placa          | Distância de visibilidade (m) |
|-------------|---|---------------------------|-------------------------------|
| cell1-17    |    | RampaSubsoloEsquerdaSaida | 9                             |
| cell3-17    |    | RampaSubsoloEsquerdaSaida | 9                             |
| cell1-3     |    | RampaSubsoloEsquerdaSaida | 9                             |
| cell3-9     |    | RampaSubsoloEsquerdaSaida | 9                             |
| cell5-5     |    | RampaSubsoloEsquerdaSaida | 9                             |
| cell12-9    |    | RampaSubsoloEsquerdaSaida | 9                             |
| cell10-5    |    | RampaSubsoloCentro        | 9                             |
| cell12-17   |  | RampaSubsoloCentro        | 9                             |
| cell18-17   |  | RampaSubsoloCentro        | 9                             |
| cell18-7    |  | RampaSubsoloDireita       | 9                             |
| cell20-11   |  | RampaSubsoloDireita       | 9                             |
| cell7-26.5  |  | RampaSubsoloTopCentro     | 9                             |
| cell11-26.5 |  | RampaSubsoloTopCentro     | 9                             |
| cell17-26.5 |  | RampaSubsoloTopDireita    | 9                             |
| cell21-26.5 |  | RampaSubsoloTopDireita    | 9                             |















Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 83 - Indicação dos sinais nas células do modelo no pavimento térreo.

|                |                  |                 |                 |                    |                  |                  |                |                  |                 |                  |
|----------------|------------------|-----------------|-----------------|--------------------|------------------|------------------|----------------|------------------|-----------------|------------------|
| cell30-40.88   | cell32-40.88     | cell34-40.88    | cell36-40.88    | cell38-40.88       | cell40-40.88     | cell42-40.88     | cell44-40.88   | cell46-40.88     | cell48-40.88    | cell50-40.88     |
| cell30-38.88   | cell32-38.88     | cell34-38.88    | cell36-38.88    | cell38-38.88       | cell40-38.88     | cell42-38.88     | cell44-38.88   | cell46-38.88     | cell48-38.88    | cell50-38.88     |
| cell30-36.88   | cell32-36.88     | cell34-36.88    | cell36-36.88    | cell38-36.88       | cell40-36.88     | cell42-36.88     | cell44-36.88   | cell46-36.88     | cell48-36.88    | cell50-36.88     |
| cell30-34.88   | cell32-34.88     | cell34-34.88    | cell36-34.88    | cell38-34.88       | cell40-34.88     | cell42-34.88     | cell44-34.88   | cell46-34.88     | cell48-34.88    | cell50-34.88     |
| cell30-32.88   | cell32-32.88     | cell34-32.88    | cell36-32.88    | cell38-32.88       | cell40-32.88     | cell42-32.88     | cell44-32.88   | cell46-32.88     | cell48-32.88    | cell50-32.88     |
| cell30-30.88   | cell32-30.88     | cell34-30.88    | cell36-30.88    | cell38-30.88       | cell40-30.88     | cell42-30.88     | cell44-30.88   | cell46-30.88     | cell48-30.88    | cell50-30.88     |
|                |                  |                 |                 |                    |                  | cell42.216-30.16 |                | cell46.42-30.843 |                 | cell50.8-30.843  |
| cell32.2-27.46 | cell34.2-27.46   | cell36.2-27.46  | cell38.2-27.46  | cell40.2-27.46     | cell41.35-27.2   | cell43.35-27.2   | cell44.35-26.4 | cell45.8-27.25   | cell47.8-27.25  | cell50.55-26.7   |
| cell32.2-25.48 | cell34.2-25.48   | cell36.2-25.48  | cell38.2-25.48  | cell40.2-25.48     | cell41.36-25.2   | cell43.36-25.2   | cell44.35-24.4 | cell45.8-25.25   | cell47.8-25.25  | cell50.55-24.7   |
|                | cell34.53-25.206 |                 |                 |                    | cell41.35-23.2   | cell43.35-23.2   |                | cell45.8-23.25   | cell47.8-23.25  | cell49.825-23.62 |
|                | cell34.19-23.24  | cell36.19-23.24 | cell38.19-23.24 | cell40.19-23.24    | cell41.121-23.65 |                  |                | cell45.8-21.25   | cell47.8-21.25  | cell50.55-22.7   |
|                | cell34.52-22.09  |                 |                 |                    |                  |                  |                | cell45.8-19.25   | cell47.8-19.25  |                  |
| cell31.9-20.22 | cell33.9-20.22   |                 |                 |                    |                  |                  |                | cell45.8-17.25   | cell47.8-17.25  |                  |
| cell31.9-18.22 | cell33.9-18.22   | cell34.39-16.5  | cell36.39-16.5  | cell38.39-16.5     | cell40.7-16.5    | cell42.7-16.5    | cell44.7-16.5  | cell45.7-16.5    | cell48.8-16.901 | cell50.8-14.959  |
| cell30.39-14.5 | cell32.39-14.5   | cell34.39-14.5  | cell36.39-14.5  | cell38.39-14.5     | cell40.7-14.5    | cell42.7-14.5    | cell44.7-14.5  | cell45.7-14.5    | cell48.8-12.959 | cell50.8-12.959  |
|                |                  |                 | cell35.9-13.3   | cell37.9-13.3      | cell39.9-13.3    | cell41.1-13.82   |                |                  | cell48.8-10.959 | cell50.8-10.959  |
|                |                  |                 | cell35.9-12.8   | cell37.9-12.8      | cell39.9-12.8    | cell41.1-11.82   |                |                  | cell48.8-8.959  | cell50.8-8.959   |
|                |                  |                 | cell35.9-10.8   | cell37.9-10.8      | cell39.9-10.8    | cell41.1-10.82   |                |                  | cell48.8-6.959  | cell50.8-6.959   |
|                |                  |                 | cell35.9-8.8    | cell37.9-8.8       | cell39.9-8.8     | cell41.1-8.82    |                |                  | cell48.8-4.959  | cell50.8-4.959   |
|                |                  |                 | cell35.9-6.8    | cell37.9-6.8       | cell39.9-6.8     | cell41.1-6.82    |                |                  | cell48.8-2.959  | cell50.8-2.959   |
|                |                  |                 | cell35.9-4.8    | cell37.9-4.8       | cell39.9-4.8     | cell41.1-4.82    |                |                  | cell48.8-0.959  | cell50.8-0.959   |
|                |                  |                 | cell35.9-2.8    | cell37.9-2.8       | cell39.9-2.8     | cell41.1-2.82    |                |                  |                 |                  |
|                |                  |                 | cell35.9-0.8000 | cell37.9-0.8000002 |                  |                  |                |                  |                 |                  |





Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 39 - Células correspondentes as sinalizações.

| Células          | Sinais  | Sentido da Placa | Distância de visibilidade (m) |
|------------------|---|------------------|-------------------------------|
| cell48.8-0.959   |    | SaidaBoate2      | 9                             |
| cell50.8-6.959   |    | SaidaBoate2      | 9                             |
| cell50.8-12.959  |    | SaidaBoate2      | 9                             |
| cell48.8-14.959  |    | SaidaBoate2      | 9                             |
| cell40.7-16.5    |    | SaidaBoate2      | 9                             |
| cell39.6-10.82   |    | SaidaBoate2      | 9                             |
| cell35.91-6.8    |    | SaidaBoate2      | 9                             |
| cell37.91-12.8   |  | SaidaBoate2      | 9                             |
| cell35.9-15.3    |  | SaidaBoate       | 9                             |
| cell37.9-17.3    |  | SaidaBoate       | 9                             |
| cell32.39-14.5   |  | SaidaBoate       | 9                             |
| cell30.39-16.5   | <b>SAÍDA</b>  | SaidaBoate       | 9                             |
| cell45.8-19.25   |  | SaidaBoate2      | 9                             |
| cell50.55-22.7   |  | SaidaBoate3      | 9                             |
| cell50.55-28.7   | <b>SAÍDA</b>  | SaidaBoate3      | 9                             |
| cell47.8-23.25   |  | SaidaBoate2      | 9                             |
| cell45.8-29.25   | <b>SAÍDA</b>  | SaidaBoate2      | 9                             |
| cell42.215-28.19 | <b>SAÍDA</b>  | SaidaBoate       | 9                             |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 40 - Células correspondentes as sinalizações.

| <b>Células</b>   | <b>Sinais</b>   | <b>Sentido da Placa</b> | <b>Distância de visibilidade (m)</b> |
|------------------|---|-------------------------|--------------------------------------|
| cell44.35-24.4   |  | SaidaBoate              | 9                                    |
| cell34.19-23.24  |  | SaidaBoate              | 9                                    |
| cell34.2-27.48   |  | SaidaBoate              | 9                                    |
| cell41.121-23.65 |  | SaidaBoate2             | 9                                    |










Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 84 - Indicação dos sinais nas células do modelo no pavimento superior.

|             |             |             |             |             |             |                |             |             |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|-------------|-------------|
| cell61.7-29 | cell63.7-29 | cell65.7-29 | cell67.7-29 | cell69.7-29 | cell71.7-29 | cell73.7-29    | cell75.7-29 | cell77.7-29 |
| cell61.7-27 | cell63.7-27 | cell65.7-27 | cell67.7-27 | cell69.7-27 | cell71.7-27 | cell73.7-27    | cell75.7-27 | cell77.7-27 |
| cell61.7-25 | cell63.7-25 | cell65.7-25 | cell67.7-25 | cell69.7-25 | cell71.7-25 | cell73.7-25    | cell75.7-25 | cell77.7-25 |
|             |             |             | cell67.7-23 | cell69.7-23 | cell71.7-23 | cell73.7-23    | cell75.7-23 | cell77.7-23 |
|             |             |             | cell67.7-21 | cell69.7-21 | cell71.7-21 | cell73.7-21    | cell75.7-21 | cell77.7-21 |
|             |             |             | cell67.7-19 | cell69.7-19 | cell71.7-19 | cell73.7-19    | cell75.7-19 | cell77.7-19 |
|             |             |             |             |             |             | cell74.9-18.43 |             |             |
|             |             |             | cell68-16.6 | cell70-16.6 | cell72-16.6 | cell74-16.6    | cell76-16.6 | cell78-16.6 |
|             |             |             | cell68-14.6 | cell70-14.6 | cell72-14.6 | cell74-14.6    | cell76-14.6 | cell78-14.6 |
|             |             |             |             |             |             |                |             | cell80-16.6 |
|             |             |             |             |             |             |                |             | cell80-14.6 |

Fonte: Elaborado pelo autor.


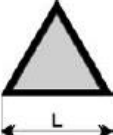

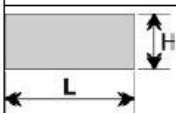
Tabela 41- Células correspondentes as sinalizações.

| Células        | Sinais  | Sentido da Placa       | Distância de visibilidade (m) |
|----------------|---|------------------------|-------------------------------|
| cell78-16.6    |    | RampaSuperiorDireitaG  | 9                             |
| cell74.9-18.43 |    | RampaSuperiorDireitaG  | 9                             |
| cell70-16.6    |    | RampaSuperiorDireitaG  | 9                             |
| cell68-14.6    |    | RampaSuperiorDireitaG  | 9                             |
| cell73.7-25    |    | RampaSuperiorEsquerdaG | 9                             |
| cell71.7-29    |    | RampaSuperiorEsquerdaG | 9                             |
| cell67.7-21    |    | RampaSuperiorEsquerdaG | 9                             |
| cell65.7-27    |  | RampaSuperiorEsquerdaG | 9                             |
| cell61.7-29    |  | RampaSuperiorEsquerdaG | 9                             |

Fonte: Elaborado pelo aut

**Anexo A****TABELA 1 – DIMENSÕES DAS PLACAS DE  
SINALIZAÇÃO**

Figura 85 - Tabela 1 da ABNT NBR 13434-1 - Dimensão das placas e distância de visualização.

| Sinal                                       | Forma geométrica   | Cota<br>mm  | Distância máxima de visibilidade |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
|---|--|-------------|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
|   |  |             | m                                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
|   |  |             | 4                                | 6   | 8   | 10  | 12  | 14  | 16  | 18  | 20  | 24  | 28  | 30   |
| Proibição                                   | <br>D             | D           | 101                              | 151 | 202 | 252 | 303 | 353 | 404 | 454 | 505 | 606 | 706 | 757  |
| Alerta                                      | <br>L             | L           | 136                              | 204 | 272 | 340 | 408 | 476 | 544 | 612 | 680 | 816 | 951 | 1019 |
| Orientação,<br>salvamento e<br>equipamentos | <br>L            | L           | 89                               | 134 | 179 | 224 | 268 | 313 | 358 | 402 | 447 | 537 | 626 | 671  |
|   | <br>H<br>(L=2H) | H<br>(L=2H) | 63                               | 95  | 126 | 158 | 190 | 221 | 253 | 285 | 316 | 379 | 443 | 474  |

<sup>1)</sup> As dimensões (cotas) apresentadas são valores mínimos de referência para as distâncias dadas.

Fonte: ABNT NBR 13434-1 (2004a).