



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

CENTRO TECNOLÓGICO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO – PÓS ARQ

Kissia Stein do Nascimento

**INFLUÊNCIA DA ARQUITETURA NA EVACUAÇÃO EMERGENCIAL DE
EDIFÍCIOS OCUPADOS POR PESSOAS COM LIMITAÇÕES FUNCIONAIS**

Florianópolis

2022

Kissia Stein do Nascimento

**INFLUÊNCIA DA ARQUITETURA NA EVACUAÇÃO EMERGENCIAL DE
EDIFÍCIOS OCUPADOS POR PESSOAS COM LIMITAÇÕES FUNCIONAIS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito inicial para a obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. João Carlos Souza, Dr.

Florianópolis

2022

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

Nascimento, Kissia Stein do
Influência da arquitetura na evacuação emergencial de
edifícios ocupados por pessoas com limitações funcionais /
Kissia Stein do Nascimento ; orientador, João Carlos
Souza, 2023.
230 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Arquitetura e Urbanismo. 2. Arquitetura. 3.
Acessibilidade. 4. Rotas de fuga. 5. Simulação
computacional. I. Souza, João Carlos. II. Universidade
Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Kissia Stein do Nascimento

**INFLUÊNCIA DA ARQUITETURA NA EVACUAÇÃO EMERGENCIAL DE
EDIFÍCIOS OCUPADOS POR PESSOAS COM LIMITAÇÕES FUNCIONAIS**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca
examinadora composta pelos seguintes membros:

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

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

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

Prof. Leonardo Varella, Dr.

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Prof.^a Máira Longhinotti Felipe, Dr.^a
Coordenadora do Curso de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

Prof. João Carlos Souza, Dr.
Orientador

Florianópolis, 2022.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos as pessoas que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho, em especial:

À minha família, por entender minhas ausências e festejar minhas conquistas. Aos meus pais, Rubia e Alcides, pelo apoio incondicional, incentivo e entusiasmo, assim como por me amparar e fortalecer hoje e sempre. Ao meu irmão Kléssio, minha cunhada Débora e meus queridos sobrinhos Vitor, João e Laura, sou grata pela companhia e alegria nos momentos de folga e descontração, essenciais para desopilar e renovar as energias.

Ao meu companheiro Horácio, pela atenção, paciência e carinho com que me ajuda diariamente e que foi fundamental ao longo do mestrado. Obrigada pelo orgulho transmitido, pelos momentos de descontração, pela parceria no desenvolvimento do trabalho, trocando ideias, aprendendo em conjunto e estando ao meu lado na tabulação dos dados, leituras e ensaios de apresentações.

Aos amigos, por compreenderem os momentos em que precisei me ausentar e por estarem presentes quando preciso, mesmo virtualmente em alguns casos. Em especial, ao casal inspirador Bárbara (em memória viva) e Adriano, a Fernanda, Kelly, Elisa e Thaís.

Ao meu orientador Professor João Carlos, por acreditar no potencial desta pesquisa, contribuindo com sua experiência e conhecimento técnico científico.

Aos professores das disciplinas cursadas durante o mestrado, pelos ensinamentos e experiências. Aos membros das bancas de qualificação e de defesa, pela disponibilidade e pelas contribuições para esse trabalho. Ao pessoal da secretaria do PósARQ, sempre prestativo para esclarecer dúvidas e auxiliar com a documentação.

Aos amigos e colegas com quem assisti aulas e tive o prazer de conviver durante o processo do mestrado, pelas conversas, trocas de experiências e trabalhos desenvolvidos. Em especial a Rosana, Monique e Tatiana, que, pela afinidade, compartilharam anseios e ajudaram a construir conhecimento em conjunto.

Ao revisor Vidomar, pela disponibilidade em corrigir pacientemente o meu texto.

À Thunderhead Engineering, pela concessão da licença acadêmica do *software* utilizado na pesquisa.

À Universidade Federal de Santa Catarina e ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, por fazerem parte da minha formação profissional e pela oportunidade que me concederam para obter este título.

RESUMO

As tendências demográficas de envelhecimento da população e as demandas sociais por acessibilidade a todos implicam a revisão da capacidade de acesso e abandono de edificações. A diversidade de perfis de usuários, incluindo a presença de pessoas com limitações funcionais, tem impacto potencial na dinâmica do fluxo de caminamento durante uma evacuação, seja pela velocidade de movimento, pelo aumento do espaço necessário ou pela forma como as pessoas se relacionam entre si durante a fuga. Um dos aspectos cruciais para a segurança à vida em casos de evacuação emergencial é a existência de rotas de fuga adequadas, e há diretrizes de projeto arquitetônico que influem diretamente nos aspectos da circulação horizontal e vertical, os quais, por sua vez, influem no tempo e fluxo de evacuação. Para avaliar os impactos de distintas alternativas de abandono de edificações influenciadas pelo projeto arquitetônico das rotas de fuga, é necessário considerar aspectos da edificação e dos usuários. A presente pesquisa visa avaliar a influência da arquitetura no projeto de rotas de fuga acessíveis para redução do tempo de deslocamento durante a evacuação. Através do uso do *software* Pathfinder como ferramenta de simulação computacional de evacuação de edifícios, foram realizadas simulações com a inserção de ocupantes com perfis variados, pessoas com limitações funcionais e procedimentos de fuga assistida. Após experimentação do modelo computacional com a definição e calibragem das variáveis de entrada, foi realizado estudo de caso com o projeto para um novo edifício da Fundação Catarinense de Educação Especial – FCEE. Como resultado da combinação de variações arquitetônicas e populacionais, foi possível observar o impacto de alterações projetuais de maior e menor nível de intervenção em um projeto existente e aprovado pelo Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina. Destacou-se como fator positivo para redução do tempo total de deslocamento a ampliação na largura de portas, e, para casos de circulação vertical, mostrou-se relevante existirem áreas protegidas para que pessoas que não tenham autonomia para fuga por escadas possam esperar por auxílio, caso as escadas sejam a única forma de escape vertical. Outro ponto a ser ressaltado é que a simulação computacional pode auxiliar tanto no desenvolvimento de projetos arquitetônicos quanto em treinamentos e na gestão da segurança, contribuindo para avaliar o quantitativo necessário de pessoas capacitadas e treinadas para auxiliar ocupantes vulneráveis durante uma situação de emergência que demande o abandono de edificação.

Palavras-chave: Arquitetura; Acessibilidade; Rotas de fuga; Simulação computacional.

ABSTRACT

Demographic trends of an aging population and social demands for accessibility for all imply a review of the access and evacuation capacity of buildings. The diversity of user profiles, including the presence of people with functional limitations, has a potential impact on the dynamics of the walking flow during an evacuation, either by the speed of movement, the increased space required, or the way people relate to each other during escape. One of the crucial aspects for life safety in cases of emergency evacuation is the existence of adequate escape routes, and there are architectural design guidelines that directly influence the aspects of horizontal and vertical circulation, which, in turn, influence the evacuation time and flow. To evaluate the impacts of different building abandonment alternatives influenced by the architectural design of escape routes, it is necessary to consider aspects of the building and of the users. This research aims to evaluate the influence of architecture on the design of accessible escape routes to reduce travel time during evacuation. Through the use of Pathfinder software as a tool for computer simulation of building evacuation, simulations were performed with the insertion of occupants with varied profiles, people with functional limitations, and assisted escape procedures. After experimenting with the computational model and defining and calibrating the input variables, a case study was conducted with the design of a new building for the Fundação Catarinense de Educação Especial — FCEE (Santa Catarina State Foundation for Special Education). As a result of the combination of architectural and population variations, we could observe the impact of higher and lower-level design changes on an existing project approved by the Military Fire Department of Santa Catarina. As a positive factor for reducing the total time of displacement, we emphasize the increase in the width of doors, and, for cases of vertical circulation, it was proved relevant to provide for protected areas so that people who do not have the autonomy to escape by stairs can wait for help, if the stairs are the only form of vertical escape. Another aspect to be considered is that computer simulation can help both in the development of architectural projects and in training and safety management, contributing for the evaluation of the necessary amount of trained and capable people to help vulnerable occupants during an emergency situation that demands the evacuation of the building.

Keywords: Architecture; Accessibility; Evacuation routes; Computational simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas de evacuação e sequência de resposta do ocupante ao fogo.....	29
Figura 2 – Descrição das etapas de desenvolvimento da pesquisa.....	72
Figura 3 – Planta do modelo de referência.....	76
Figura 4 – Demonstração de trajetos com maior distância percorrida para situações com 20% e 25% do perfil Lento Assistido	90
Figura 5 – Formato de rampa e escada simuladas para análise do acréscimo de andares.....	107
Figura 6 – Etapas finais do processo de análise de PPCI do novo prédio da FCEE	120
Figura 7 – Saídas e escadas de emergência do novo prédio da FCEE	121
Figura 8 – Escadas de emergência do novo prédio da FCEE.....	122
Figura 9 – Áreas de circulação em rota de fuga no novo prédio da FCEE	122
Figura 10 – Planta do térreo indicando ampliação das portas da antecâmara da escada 03...	126
Figura 11 – Planta do térreo indicando alteração na descarga da escada 03 para acesso direto à área externa	127
Figura 12 – Sobreposição de plantas baixas indicando inserção de rampa externa para evacuação em substituição à escada 01	127

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Perfis de ocupantes estudados, conforme limitação funcional	38
Quadro 2 – Exemplos de acompanhamento e transporte de pessoas em evacuação assistida	46
Quadro 3 – Vantagens e desvantagens de regulamentos prescritivos e funcionais.....	55
Quadro 4 – Exemplo da classificação de ocupações	60
Quadro 5 – Exemplo de dados da tabela 6 da IN09 CBMSC.....	61
Quadro 6 – Exemplo de escadas previstas na IN 09 CBMSC.....	63
Quadro 7 – <i>Inputs</i> do modelo de ocupante padrão do <i>software</i> Pathfinder.....	75
Quadro 8 – Parâmetros do Módulo de Referência	76
Quadro 9 – Variáveis populacionais para calibragem do modelo	79
Quadro 10 – Densidades simuladas.....	80
Quadro 11 – Demonstração de trajeto intrincado com pouco deslocamento que resulta em maior distância percorrida	82
Quadro 12 – Variações para ocupantes com autonomia individual de mobilidade.....	84
Quadro 13 – Variações para ocupantes acompanhados por amigos, colegas ou familiares.....	88
Quadro 14 – Variações para ocupantes que necessitam ser transportados.....	92
Quadro 15 – Variáveis Arquitetônicas para calibragem do modelo.....	95
Quadro 16 – Variações para formato geométrico de planta	96
Quadro 17 – Variações para compartimentação interna de ambientes.....	98
Quadro 18 – Variações para <i>Layout</i> Interno.....	99
Quadro 19 – Variações para circulação horizontal.....	101
Quadro 20 – Resultado aos 35 segundos para variação de largura da circulação horizontal.....	103
Quadro 21 – Variações para disposição de portas de saídas de emergência	104
Quadro 22 – Variações para Quantidade e Disposição de Rampas.....	109
Quadro 23 – Variações para Quantidade e Disposição de Escadas.....	110
Quadro 24 –Variações para Formatos de Rampa	112
Quadro 25 – Variações para Formatos de Escada	113
Quadro 26 – Variações para Área de Resgate	114
Quadro 27 – Busca por editais de licitação	116
Quadro 28 – Cenários simulados para FCEE	128
Quadro 29 – Situação das evacuações aos 150 segundos.....	164

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados do Modelo de Referência para simulação inicial	77
Tabela 2 – Resultado do Modelo de Referência após randomização Monte Carlo.....	78

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Resultado para densidades no Modelo de Referência	81
Gráfico 2 – Resultado para formato do ocupante	85
Gráfico 3 – Resultado para velocidade isolada e em conjunto com formato	86
Gráfico 4 – Resultado para ocupantes acompanhados	89
Gráfico 5 – Resultado para ocupantes transportados com uma equipe de apoio	93
Gráfico 6 – Resultado para ocupantes transportados com duas equipes de apoio	93
Gráfico 7 – Resultado para Formato Geométrico.....	96
Gráfico 8 – Resultado para Compartimentação.....	98
Gráfico 9 – Resultado para <i>Layout</i> Interno	100
Gráfico 10 – Resultado para Formato da Circulação Horizontal	101
Gráfico 11 – Resultado para Largura da Circulação Horizontal	102
Gráfico 12 – Resultado para Quantidade e Disposição de Portas de Saída de Emergência...	105
Gráfico 13 – Resultado para Largura da Porta de Saída de Emergência.....	106
Gráfico 14 – Resultado para Número de Pavimentos.....	108
Gráfico 15 – Resultado para Quantidade e Disposição de Rampas	111
Gráfico 16 – Resultado para Quantidade e Disposição de Escadas	111
Gráfico 17 – Resultado para formato de rampa.....	113
Gráfico 18 – Resultado para formato de escada	113
Gráfico 19 – Resultado para Área de Resgate	114
Gráfico 20 – Tempos totais de deslocamento de todos os ocupantes, com planta original da FCEE	131
Gráfico 21 – Distância máxima percorrida com planta original da FCEE	132
Gráfico 22 – Tempos totais de deslocamento conforme perfil de ocupante, com planta original da FCEE	133
Gráfico 23 – Tempos totais de deslocamento conforme porta de saída de emergência, com planta original da FCEE.....	136
Gráfico 24 – Tempos totais de deslocamento conforme escada de emergência, com planta original da FCEE.....	137
Gráfico 25 – Tempos de deslocamento até área de relativa segurança, com planta original da FCEE	139
Gráfico 26 – Tempos totais de deslocamento de todos os ocupantes, com ampliação das portas da antecâmara da escada 03	141
Gráfico 27 – Distância máxima percorrida, com ampliação das portas da antecâmara da escada 03.....	142
Gráfico 28 – Tempos totais de deslocamento conforme perfil de ocupante, com ampliação das portas da antecâmara da escada 03	143

Gráfico 29 – Tempos totais de deslocamento conforme porta de saída de emergência, com ampliação das portas da antecâmara da escada 03.....	144
Gráfico 30 – Tempos totais de deslocamento conforme escada de emergência, com ampliação das portas da antecâmara da escada 03	145
Gráfico 31 – Tempos de deslocamento até área de relativa segurança, com ampliação das portas da antecâmara da escada 03	147
Gráfico 32 – Tempos totais de deslocamento de todos os ocupantes, com alteração da descarga da escada 03	148
Gráfico 33 – Distância máxima percorrida com alteração da descarga da escada 03	149
Gráfico 34 – Tempos totais de deslocamento conforme perfil de ocupante, com alteração da descarga da escada 03	150
Gráfico 35 – Tempos totais de deslocamento conforme porta de saída de emergência, com alteração da descarga da escada 03	152
Gráfico 36 – Tempos totais de deslocamento conforme escada de emergência, com alteração da descarga da escada 03	153
Gráfico 37 – Tempos de deslocamento até área de relativa segurança, com alteração da descarga da escada 03	154
Gráfico 38 – Tempo total de deslocamento de todos os ocupantes, com substituição da escada 01 por rampa externa.....	156
Gráfico 39 – Distância máxima percorrida, com substituição da escada 01 por rampa externa.....	157
Gráfico 40 – Tempos totais de deslocamento conforme perfil de ocupante, com substituição da escada 01 por rampa externa.....	158
Gráfico 41 – Tempos totais de deslocamento conforme porta de saída de emergência, com substituição da escada 01 por rampa externa.....	160
Gráfico 42 – Tempos totais de deslocamento conforme escada de emergência, com substituição da escada 01 por rampa externa.....	161
Gráfico 43 – Tempos de deslocamento até área de relativa segurança, com substituição da escada 01 por rampa externa.....	162

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASET	<i>Available Safe Evacuation Time</i> (Tempo Disponível para Evacuação Segura)
CAP	Centro de Apoio Pedagógico e Atendimento às pessoas com Deficiência Visual
CAS	Centro de Capacitação de Profissionais de Educação e de atendimento às pessoas com Surdez
CBM	Corpo de Bombeiros Militar
CBMSC	Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina
CENAE	Centro de Avaliação e Encaminhamento
CENER	Centro de Reabilitação Ana Maria Philippi
CETEA	Centro Especializado em Transtorno do Espectro Autista
CETEP	Centro de Tecnologia Assistiva
CV	Coeficiente de Variação
DI	Deficiência Intelectual
FCEE	Fundação Catarinense de Educação Especial
IN	Instrução Normativa
Libras	Língua Brasileira de Sinais
NAAHS	Núcleo de Atividades de Altas Habilidades/Superdotação
NBR	Norma Brasileira
PcD	Pessoa com Deficiência
PCR	Pessoa em Cadeira de Rodas
PMR	Pessoa com Mobilidade Reduzida
PPCI	Projeto de Prevenção e Segurança Contra Incêndio e Pânico
RSET	<i>Required Safe Evacuation Time</i> (Tempo Requerido para Evacuação Segura)
SCI	Segurança Contra Incêndio e Pânico
SCIE	Segurança Contra Incêndio em Edificações
SMSCI	Sistemas e Medidas de Segurança Contra Incêndio
TDAH	Transtorno do Déficit de Atenção/Hiperatividade
TEA	Transtorno do Espectro Autista

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
1.1	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	20
1.2	PERGUNTA DE PESQUISA.....	23
1.3	OBJETIVOS	23
1.3.1	Objetivo Geral	23
1.3.2	Objetivos Específicos	23
1.4	JUSTIFICATIVA	23
1.5	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	24
2	ABANDONO EMERGENCIAL DE EDIFICAÇÕES E LIMITAÇÕES FUNCIONAIS	26
2.1	ABANDONO EMERGENCIAL DE EDIFICAÇÕES	28
2.1.1	Processo de evacuação.....	28
2.1.2	Rotas de fuga	30
2.2	ACESSIBILIDADE.....	31
2.2.1	Diversidade humana e limitações funcionais	32
2.2.2	Acessibilidade Espacial e Desenho Universal.....	34
2.3	LIMITAÇÕES FUNCIONAIS EM SITUAÇÃO DE EVACUAÇÃO EMERGENCIAL.....	36
2.3.1	Considerações comportamentais	36
2.3.1.1	Limitações auditivas durante evacuação emergencial	39
2.3.1.2	Limitações cognitivas durante evacuação emergencial	39
2.3.1.3	Limitações visuais durante evacuação emergencial.....	40
2.3.1.4	Limitações de mobilidade durante evacuação emergencial	41
2.3.2	Estratégias de evacuação	41
2.3.2.1	Uso de elevadores	41
2.3.2.2	Uso de áreas de resgate e refúgio	42
2.3.2.3	Fuga assistida	44
2.3.3	Requisitos e considerações espaciais.....	47
2.3.4	Velocidades de fluxo	49
3	PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE ROTAS DE FUGA.....	51
3.1	MODELOS DE REGULAMENTAÇÃO TÉCNICA	54
3.2	DIMENSIONAMENTO PRESCRITIVO	56
3.2.1	Critério de dimensionamento conforme IN 09 CBM SC, de 23/12/2021	59
3.3	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE EVACUAÇÃO	65

3.3.1 Simulação computacional de evacuação para pessoas com limitações funcionais.....	68
4 MÉTODO E ETAPAS DE PESQUISA	72
4.1 EXPERIMENTAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL	73
4.1.1 Escolha do <i>software</i> para simulações	73
4.1.2 Calibragem de variáveis para input	75
4.1.2.1 Variáveis populacionais	79
4.1.2.1.1 Densidade.....	79
4.1.2.1.2 Tipo de Ocupante	82
A) Ocupantes com autonomia individual de mobilidade	83
B) Ocupantes acompanhados por amigos, colegas ou familiares	87
C) Ocupantes que necessitam ser transportados	90
4.1.2.2 Variáveis arquitetônicas	94
4.1.2.2.1 Formato geométrico da planta.....	95
4.1.2.2.2 Compartimentação interna	97
4.1.2.2.3 <i>Layout</i> interno de ambientes	99
4.1.2.2.4 Circulação Horizontal	100
A) Formato	100
B) Largura	102
4.1.2.2.5 Portas de Saída de Emergência	103
A) Quantidade e Disposição.....	103
B) Largura	105
4.1.2.2.6 Circulação Vertical.....	107
A) Quantidade de pavimentos	107
B) Quantidade e Disposição.....	109
C) Formato	112
D) Área de Resgate.....	113
4.2 DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO DE CASO	115
4.2.1 Escolha da edificação	115
4.2.1.1 Fundação Catarinense de Educação Especial – FCEE.....	117
4.2.2 Inserção de dados do projeto no modelo simulador	123
4.2.3 Definição das variáveis populacionais de entrada	123
4.2.3.1 Densidade.....	123
4.2.3.2 Presença de ocupantes com limitações funcionais.....	124
4.2.4 Definição das variáveis arquitetônicas de entrada.....	126

4.2.4.1	Alterações arquitetônicas	126
4.2.4.2	Layout	128
4.2.5	Definição dos cenários simulados	128
4.2.6	Definição dos critérios para análise.....	128
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	130
5.1	PLANTA ORIGINAL	130
5.1.1	Tempo total de deslocamento de todos os ocupantes	130
5.1.2	Distância máxima percorrida.....	132
5.1.3	Tempos totais de deslocamento conforme perfil de ocupante.....	133
5.1.4	Tempos de deslocamento conforme saída de emergência localizada no pavimento térreo	135
5.1.5	Tempos de deslocamento conforme escada de emergência	137
5.1.6	Tempos de deslocamento até a área de relativa segurança.....	138
5.2	AMPLIAÇÃO DAS PORTAS DA ANTECÂMARA DA ESCADA 03	140
5.2.1	Tempo total de deslocamento de todos os ocupantes	140
5.2.2	Distância máxima percorrida.....	141
5.2.3	Tempos totais de deslocamento conforme perfil de ocupante.....	142
5.2.4	Tempos de deslocamento conforme saída de emergência localizada no pavimento térreo	144
5.2.5	Tempos de deslocamento conforme escada de emergência	145
5.2.6	Tempos de deslocamento até a área de relativa segurança.....	146
5.3	ALTERAÇÃO DA DESCARGA DA ESCADA 03	148
5.3.1	Tempo total de deslocamento de todos os ocupantes	148
5.3.2	Distância máxima percorrida.....	149
5.3.3	Tempos totais de deslocamento conforme perfil de ocupante.....	150
5.3.4	Tempos de deslocamento conforme saída de emergência localizada no pavimento térreo	151
5.3.5	Tempos de deslocamento conforme escada de emergência	153
5.3.6	Tempos de deslocamento até a área de relativa segurança.....	154
5.4	SUBSTITUIÇÃO DA ESCADA 01 POR RAMPA EXTERNA	156
5.4.1	Tempo total de deslocamento de todos os ocupantes	156
5.4.2	Distância máxima percorrida.....	157
5.4.3	Tempos totais de deslocamento conforme perfil de ocupante.....	158
5.4.4	Tempos de deslocamento conforme saída de emergência localizada no pavimento térreo	159
5.4.5	Tempos de deslocamento conforme escada ou rampa de emergência	161

5.4.6 Tempos de deslocamento até a área de relativa segurança.....	162
5.5 COMPARAÇÃO ENTRE AS SIMULAÇÕES.....	163
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	167
6.1 PROCEDIMENTOS DE PESQUISA	167
6.2 CONCLUSÕES GERAIS.....	169
6.3 RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....	172
REFERÊNCIAS	173
ANEXO A – Plantas do projeto de arquitetônico da FCEE	182
ANEXO B – Plantas do projeto preventivo da FCEE.....	185
APÊNDICE A – Variações na posição inicial dos ocupantes no Modelo de Referência	189
APÊNDICE B – Resultados das simulações para calibragem de variáveis populacionais	190
APÊNDICE C – Resultados das simulações para calibragem de variáveis arquitetônicas....	195
APÊNDICE D – Configurações de densidade populacional estudadas para FCEE	200
APÊNDICE E – Perfil de ocupantes representados no estudo de caso com a FCEE	202
APÊNDICE F – Configurações de perfil populacional estudadas para FCEE.....	205
APÊNDICE G – Resultados das análises do estudo de caso da FCEE	208
APÊNDICE H – Cenas de simulações aos 150 segundos.....	213

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho enfoca a importância em garantir a evacuação segura e acessível em edificações de uso público e coletivo, principalmente em situações emergenciais. Considera as rotas de fuga como importante elemento para permitir o esvaziamento rápido e seguro dos locais, para a proteção de vidas, e inclui a acessibilidade como fator capaz de oferecer igualdade de oportunidade para transitar por espaços com conforto, segurança e autonomia.

Há pessoas que têm limitações funcionais visíveis e permanentes, como aquelas com deficiências físicas, outras têm limitações temporárias e há aquelas com limitações não visíveis. A acessibilidade busca eliminar barreiras, para que as limitações não prejudiquem o acesso de todas as pessoas aos ambientes, bem como sua participação em atividades e fruição de serviços. Como direito fundamental, as edificações devem ser acessíveis a todos, e isto tem sido um processo de conquistas ao longo dos anos (BOYCE, 2017). Em caso de emergência, os ocupantes de uma edificação devem ter possibilidades equânimes de sair de um edifício ou chegar a uma área de segurança. Ou seja, é necessário fornecer um nível igual de segurança de vida para todos. Para tanto, as rotas de fuga e os planos de evacuação devem considerar possíveis limitações funcionais dos ocupantes.

Conforme a Lei nº 13.146/2015 e Lei 13.425/2017, em todos os tipos de edificações públicas e privadas de uso coletivo, é obrigatório o atendimento às normas de acessibilidade e de proteção e combate a incêndio, fundamentais para a preservação da integridade física e da vida de todas as pessoas. É necessário que as edificações apresentem dispositivos e estratégias que direcionem os ocupantes para locais seguros durante uma situação de emergência. No entanto, as normas prescrevem o mínimo necessário, são voltadas principalmente para edificações novas e, por vezes, oferecem exemplos que acabam se tornando padrões, pouco permitindo flexibilizações que sejam justificadas através de análise por desempenho.

Assim, este trabalho visa contribuir na busca por alternativas para avaliar estratégias projetuais arquitetônicas e planos de evacuação que contribuam para a acessibilidade em rotas de fuga. Para tanto, faz-se uso da simulação computacional de evacuação empregando perfis de ocupantes com limitações funcionais.

1.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

O envelhecimento populacional, assim como a ampliação dos direitos de inclusão social e participação, trazem consigo a necessidade de revisar o acesso e o abandono de edificações para um maior número de pessoas sem ou com limitações funcionais, sejam elas permanentes ou temporárias, progressivas, regressivas ou estáveis, intermitentes ou contínuas. Segundo o Relatório Mundial sobre a Deficiência da Organização Mundial da Saúde (OMS, 2012), estima-se que 15% da população mundial viva com alguma forma de deficiência e que essa porcentagem aumentará no futuro devido ao envelhecimento e ao aumento global das condições crônicas de saúde. Segundo o Censo 2010 do IBGE, 24% da população brasileira (aproximadamente 45 milhões de pessoas) se reconhecem com algum tipo de deficiência ou grau de dificuldade em relação a enxergar (18,8%), movimentar-se (7,0%), ouvir (5,1%), ou apresentar deficiência mental/intelectual (1,4%). Considerando que pessoas com deficiência (PcD) são as que têm grande ou total dificuldade, registram-se no Brasil 12,5 milhões de PcDs, ou seja, 6,7% da população brasileira. A deficiência visual é a mais representativa na nossa população com 3,4%, seguida por 2,3% de deficiência motora, 1,1% de deficiência auditiva e 1,4% deficiência mental/intelectual.

Dados nacionais mais recentes e atualizados em relação à Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde (CIF) foram obtidos na Pesquisa Nacional de Saúde – PNS 2019 (IBGE, 2021) e indicam que 8,4% da população brasileira acima de 2 anos (17,3 milhões de pessoas) tem algum tipo de deficiência e que quase metade dessa parcela (49,4%) é de idosos. Entre as pessoas com mais de 60 anos, a proporção é de uma a cada quatro pessoas com algum tipo de deficiência. O alto percentual de idosos com deficiência decorre do envelhecimento, que reduz a acuidade visual e auditiva e a habilidade motora. Conforme esta pesquisa, 3,8% da população acima de dois anos apresenta deficiência física nos membros inferiores, 2,7% têm deficiência nos membros superiores, 3,4% têm deficiência visual, 1,1% apresentam deficiência auditiva, 1,2% têm deficiência mental ou intelectual e 1,8% tem deficiência múltipla.

Segundo dados da PNS 2019, Santa Catarina tem 7,5% da população com deficiência em pelo menos uma das funções, apresentando 4,6% da população com deficiência motora (membros superiores ou inferiores), 2,6% com deficiência visual, 1,1% com deficiência auditiva, 1,1% com deficiência mental ou intelectual e 1,6% com deficiência múltipla. A pesquisa indica também o uso de equipamentos auxiliares, apontando 39,9% da população com uso de óculos ou outro equipamento de auxílio para problemas de visão, 1,7% que utilizam

equipamento de auxílio para locomoção, 1,0% com auxílio para membros superiores, 1,0% com uso de equipamento de auxílio para audição. O uso de equipamento de auxílio ressalta o entendimento da Convenção dos Direitos da Pessoa com Deficiência e da Lei Brasileira de Inclusão, que consideram a deficiência um conceito em evolução e tomam-na como composta pela interação de três dimensões principais: os impedimentos, as barreiras e as restrições de participação em comparação com o restante da população.

A acessibilidade de edificações, conforme item 6.1.1.1 da NBR 9050:2020, estabelece que “[a]s áreas de qualquer espaço ou edificação de uso público ou coletivo devem ser servidas de uma ou mais rotas acessíveis”, o que oportuniza igualdade de acesso. No entanto, o item 6.1.1.3 da norma diz que “[a] rota acessível pode coincidir com a rota de fuga”, o que permite compreender que a rota acessível poderá não ser a mesma a ser utilizada em caso de emergência. Ainda relativamente a rotas da fuga, o item 6.4 da NBR 9050:2020 aponta como referência a NBR 9077 e outras normas relacionadas à segurança (NBR 11785, NBR 13434 e NBR 10898), aborda a previsão de áreas de resgate com espaço reservado para PCR em rotas de fuga que tenham escadas de emergência ou elevadores de emergência e indica, em seu item 6.4.2.4, que “[e]m edificações existentes, em que seja impraticável a previsão da área de resgate, deve ser definido um plano de fuga em que constem os procedimentos de resgate para as pessoas com os diferentes tipos de deficiência” (ABNT, 2020).

Em paralelo, a demanda por segurança nas edificações tem priorizado a consideração por pessoas autônomas, sem limitações funcionais. Em geral, a classificação das edificações para exigência dos Sistemas e Medidas de Segurança Contra Incêndio (SMSCI) é definida em função de: tipo de ocupação ou uso da edificação; grau de risco ou carga de incêndio; características geométricas de área total construída e altura ou número de pavimentos; capacidade de lotação. No item tipo de ocupação ou uso da edificação, é subentendido um perfil de ocupante, que varia em relação a familiaridade com a edificação, estado de vigília e condições físicas. Desta forma, a consideração por ocupante que seja pessoa com deficiência está vinculada a edificações classificadas como “Serviços de saúde e institucionais – Locais onde pessoas requerem cuidados especiais por limitações físicas ou mentais” e a “Escolas para pessoas com deficiências – Escolas para excepcionais, deficientes visuais e auditivos e outros”. Para as demais ocupações, pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida não compõem o perfil de ocupante predominante e acabam sendo pouco consideradas. Além disso, a versão em vigor da NBR 9077:2001 – *Saídas de Emergência em Edifícios* data de 2001 e mantém o texto original do ano de 1993, apenas confirmado 20 anos depois. Desde 2001, houve alterações causadas pela NBR 9050:2020 – *Acessibilidade a Edificações, Mobiliário, Espaços e*

Equipamentos Urbanos, a qual passou por três revisões desde o período de publicação da NBR 9077:2001. Trabalhos como Valentin e Ono (2010), Silva, Pinto e Holanda (2017) e Nascimento e Souza (2019) indicam conflitos e lacunas entre a NBR 9077 e instruções normativas de corpos de bombeiros estaduais em relação à NBR 9050.

Aditivamente, a maioria das normativas, tanto em relação à acessibilidade como em relação à segurança, são prescritivas e referem-se a edificações ainda a serem construídas (CANCELLIERE *et al.*, 2018). No caso de edificações construídas em períodos anteriores, com leis e normas vigentes na época em que foram projetadas, os desafios de adequações são ainda maiores, seja por questões estruturais, tamanho e implantação da edificação no lote, seja por mudança de uso, alterações normativas legislativas, valor histórico-cultural, entre outros. Nesses casos, assim como para tratamento de edificações muito altas, é interessante que seja levantada a possibilidade de emprego de simulações e análises de desempenho, pois experimentos em situação real poderão ser perigosos para as pessoas.

A engenharia de segurança contra incêndio tem empregado cada vez mais a simulação computacional de incêndio ou de abandono como parte do processo de análise baseada em desempenho (BRAGA, 2018). Os modelos computacionais de abandono podem ser utilizados em diferentes fases do desenvolvimento do projeto do edifício visando garantir o nível desejado de segurança contra incêndio aos seus ocupantes, e quanto antes a análise das saídas de emergência for introduzida no projeto, maiores serão as possibilidades e alternativas para solucionar algum problema específico (ONO, 2010). Apesar da importância do tema e da necessidade do desenvolvimento de estudos baseados em parâmetros de desempenho, no Brasil ainda são poucas as pesquisas envolvendo modelos de evacuação (MARTINS *et al.*, 2019). Somado a isso, os modelos carecem de dados relativos à população denominada vulnerável, que inclui crianças, idosos e pessoas com limitações funcionais (VALENTIM, 2018).

Diante desses fatos e com intuito de buscar compreender a influência do movimento humano, da geometria e do dimensionamento de saídas de emergência, no tempo e na dinâmica de evacuação, optou-se por desenvolver pesquisa sobre a influência da arquitetura nos elementos de circulação que compõem as rotas de fuga em situações com presença de pessoas com limitações funcionais.

1.2 PERGUNTA DE PESQUISA

A partir da problemática apresentada, propõe-se a seguinte pergunta de pesquisa: Como o projeto arquitetônico influi no tempo de deslocamento para evacuação emergencial em edificações quando é considerada a presença de ocupantes com limitação funcional?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar o desempenho de estratégias projetuais arquitetônicas para rotas de fuga, de forma a reduzir o tempo de deslocamento para evacuação emergencial em edifícios com a presença de ocupantes com limitação funcional.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Analisar as implicações espaciais no projeto de rotas de fuga resultantes da singularidade de distintos perfis populacionais, incluindo pessoas com limitações funcionais e a fuga assistida
- b) Avaliar as possibilidades de representação da diversidade humana na simulação computacional de evacuação, incluindo pessoas com limitações funcionais e a simulação de fuga assistida
- c) Simular e analisar as condições oferecidas para fuga de pessoas com limitações funcionais em estudo de caso com projeto preventivo aprovado de uma edificação pública de uso coletivo com mais de um pavimento.

1.4 JUSTIFICATIVA

Ao projetar novos edifícios, assim como ao adaptar ou reformar imóveis existentes, os projetistas (arquitetos, engenheiros, técnicos e tecnólogos em edificações) devem considerar as regulamentações e normas de acessibilidade e segurança contra incêndios. As legislações resultam de demandas da população, que almeja maior inclusão da diversidade humana. As normas, como complementares às leis, indicam como realizar as adequações para efetiva inclusão e segurança.

As mudanças demográficas, tecnológicas e conceituais, exigem que as normas sejam atualizadas e permitam maior número de possibilidades projetuais. Para que a liberdade projetual possa ser incentivada, mantendo a acessibilidade e a segurança das edificações, é necessário que as normativas indiquem diretrizes mínimas a serem seguidas, assim como formas de avaliação do desempenho dos projetos.

Em Santa Catarina, um avanço neste sentido foi dado em 26 de novembro de 2020, quando o Corpo de Bombeiros Militares de Santa Catarina (CBMSC) publicou a Nota Técnica nº 58/2020, que altera a IN 09/DSCI/CBMSC (CBMSC, 2021). Nessa Nota Técnica, o CBMSC inseriu, pela primeira vez, a possibilidade de apresentação de “estudo baseado em critérios de desempenho e simulação computadorizada da evacuação de pessoas na edificação utilizando o *software* FDS+Evac ou outro similar” (CBMSC, 2020). Além disso, a própria IN 09/DSCI/CBMSC, ao ser revisada da versão de 2014 para 2020, incorporou mais itens que consideram a acessibilidade nas saídas de emergência. Estas atualizações da normativa podem ser consideradas um incremento positivo rumo a projetos mais acessíveis e baseados em desempenho, o que demanda análise dos critérios que serão considerados nas avaliações de projetos.

Como forma de contribuir para este tema, a presente dissertação lança estudos iniciais para análise de desempenho de rotas de fuga considerando pessoas com limitações funcionais e fuga assistida. Através de experimentação com simulação computacional de evacuação, foram avaliados impactos de propostas arquitetônicas e de variações demográficas no fluxo de abandono de edificações, indicando tempos de evacuação e pontos críticos (barreiras e gargalos), para os quais devem ser desenvolvidas propostas de adequação. Com dados de simulações, é possível avaliar a relação custo-benefício de propostas projetuais e definir opções mais adequadas para cada situação antes da execução de obras, reduzindo o custo das intervenções. Além disso, a simulação computacional pode ser utilizada para gestão e treinamento de segurança.

1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Tanto a acessibilidade quanto a segurança contra incêndio em edificações implicam diversos fatores a serem analisados. No presente estudo, o foco são as rotas de fuga como trajeto acessível e como medida passiva de proteção contra incêndio para edifícios de uso público e coletivo. A análise de acessibilidade das edificações foi limitada a acessos e circulação, não abordando itens como sanitários, banheiros e vestiários, nem mobiliário. A avaliação, através

de simulação computacional, será feita em relação ao tempo e fluxo de evacuação de edificações, não sendo considerada a simulação da movimentação das chamas e da fumaça, nem o desempenho estrutural, assim como não serão avaliados custos financeiros. O enfoque é a análise da influência do projeto das áreas de circulação horizontal e vertical, portas e acessos para o tempo de deslocamento.

A escolha por simular e analisar as condições oferecidas para fuga acessível em projeto preventivo aprovado de edificação pública e de uso coletivo com mais de um pavimento corrobora para associar a teoria com a prática, através de estudo de caso real. O recorte por edifícios públicos é dado por questão metodológica de disponibilidade de acesso a projetos para licitação de órgãos públicos de forma virtual e gratuita. A opção por edificação de uso coletivo considera o enquadramento legislativo e a possibilidade de maior diversidade de público. A preferência por edificação com mais de um pavimento se justifica pelo desafio da rota vertical de evacuação para pessoas com limitações de mobilidade.

2 ABANDONO EMERGENCIAL DE EDIFICAÇÕES E LIMITAÇÕES FUNCIONAIS

Quanto maior a segurança, menor é o risco e vice-versa. Para mitigar o perigo de sinistros ou desastres, sejam eles por causas naturais ou tecnológicas, a adoção de medidas de segurança é fundamental. Entre os desastres tecnológicos, os incêndios urbanos se destacam pela frequência de ocorrência, dificuldade de previsão e pelas consequências trágicas de sua rápida propagação. Além disso, originam-se de ações, negligências ou omissões humanas (projetistas, executores, fiscais, usuários), apresentando, portanto, maiores possibilidades de prevenção de danos através da adoção de normas de segurança voltadas a evitar ocorrências ou mitigar consequências.

No caso de situações de emergência em edifícios, as características do ambiente construído e dos ocupantes devem ser consideradas em conjunto, de forma a viabilizar a adoção de medidas de segurança, gestão e treinamento. É fundamental considerar a diversidade da população para orientar e explorar opções de projeto que minimizem barreiras e otimizem o abandono com maior autonomia para o maior número e perfis de pessoas. O acesso e a provisão de saída em edifícios devem considerar que as pessoas podem apresentar limitações funcionais, sendo necessário compreender as diferentes capacidades individuais e o impacto potencial na dinâmica do fluxo de evacuação.

Embora pareça um princípio básico que a provisão de acesso deve ser complementada pela provisão de saída, os códigos e padrões de saída tardaram a atender às necessidades das pessoas com deficiência. A preocupação com a segurança da vida das pessoas com deficiência em situação de incêndio teve início na década de 1970. No restante daquela década e na seguinte, foram organizadas conferências sobre o tema (saída, preparação para emergências, educação e projeto de construção) e foram encomendadas por comitês e instituições de padrões nos EUA (National Institute for Standards and Technology – NIST) e no Reino Unido (Building Research Establishment – BRE) pesquisas cujos resultados mostraram que as escadas (meio tradicional de fuga dos andares superiores) eram insuficientes para atender a demanda crescente da acessibilidade (BOYCE, 2017).

Um marco legal importante foi a publicação, em 1988, do *BS 5588 – Parte 8: “Code of practice for means of escape for disabled people”*¹ (BSI, 1999 *apud* BOYCE, 2017), substituído em 2008 pelo *BS 9999*. Nesse documento, foram recomendados conceitos que

¹ Código de práticas para meios de fuga para pessoas com deficiência.

atualmente são aceitos e integrados em muitos documentos de orientação em todo o mundo: uso de refúgios para acomodar temporariamente pessoas com dificuldades de mobilidade, uso de elevadores apropriadamente projetados como um meio de evacuação vertical e reconhecimento das principais responsabilidades da gestão no desenvolvimento e implementação de procedimentos de evacuação (BOYCE, 2017). Na década de 1990, outras leis foram introduzidas para garantia da oferta de oportunidades iguais de acesso a serviços e edifícios (novos ou existentes), gerando uma expectativa em relação à evacuação. Entre estas, destacam-se a Lei dos Americanos com Deficiências (1990), a Lei de Discriminação da Deficiência Australiana (1992) e a Lei de Discriminação da Deficiência no Reino Unido (1995), que foi substituída pela Lei da Igualdade (2010).

A necessidade de saídas de emergência acessíveis foi identificada internacionalmente, indicando-se a necessidade de algumas estratégias alternativas de evacuação com, no mínimo, o mesmo nível de segurança, para que todos os ocupantes atinjam um ponto seguro dentro ou fora do edifício durante a evacuação (ROBBINS; BUCKETT, 2014). Proulx (2002) destaca que estratégias diversas devem ser escolhidas para a evacuação de edificações, de acordo com o tipo de incêndio e a configuração da edificação. No caso das estratégias para proteção *in loco*, é necessária a permanência de alguns ou de todos os ocupantes no prédio durante um incêndio em áreas de refúgio ou resgate (compartimentos de segurança resistentes ao fogo e à fumaça) até que os bombeiros controlem a situação ou façam o resgate. No caso das estratégias para evacuação da edificação com a retirada dos ocupantes, as pessoas com dificuldades de mobilidade podem evacuar o prédio usando elevadores seguros específicos, ou serem levadas a descer as escadas ou rampas. Um estudo comparativo de Shinozaki *et al.* (2016), sobre regulamentos, códigos e padrões de segurança de evacuação para pessoas com deficiência física em 16 países, reforça o reconhecimento do uso temporário de refúgios para aqueles que não podem usar escadas e a necessidade de medidas de assistência e/ou fornecimento de elevadores de evacuação para descida vertical, associando a confiança na combinação de disposições estruturais e informações de gerenciamento.

A seguir serão abordados o processo de abandono emergencial de edificações, a acessibilidade e como estes se relacionam para que as limitações funcionais sejam consideradas em situações de evacuação emergencial.

2.1 ABANDONO EMERGENCIAL DE EDIFICAÇÕES

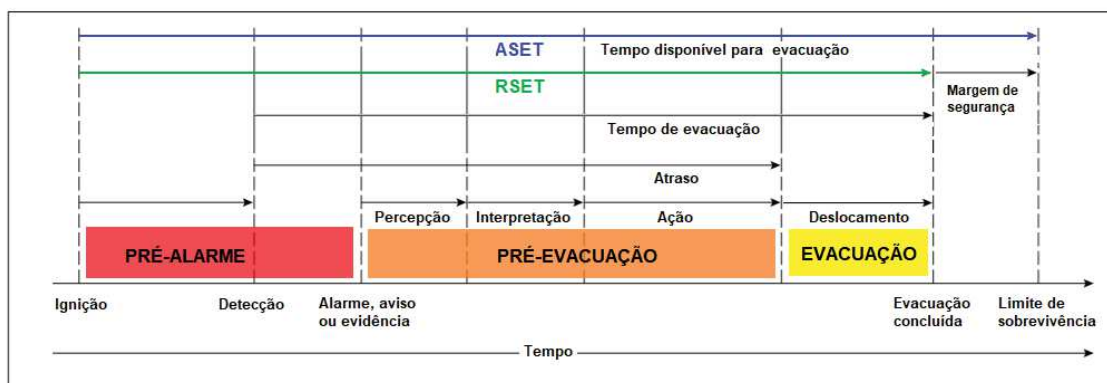
A precisão da percepção do risco em relação às fontes de ameaça e seu grau de importância são determinantes para a sobrevivência ou não de um ocupante em um desastre (DRURY; COCKING, 2007). Após o alerta de emergência, a capacidade cognitiva depende de um processo psicológico, de aspectos subjetivos de avaliação da probabilidade de ser afetado ou não por um evento indesejado em uma situação específica e de uma percepção da própria segurança e dos recursos de enfrentamento disponíveis (LIMA, 2017).

A percepção individual de riscos é variável e interfere diretamente na tomada de decisão, pois pessoas reagem de formas diversas aos sinais de perigo e têm condições de ação individualizadas. É possível que determinados ocupantes entrem em estado de pânico, não consigam reagir prontamente, percam parcial ou totalmente sua capacidade de raciocínio lógico, fiquem paralisados e/ou estejam mais propensos a repetir ações de outras pessoas de forma desatenta. É importante considerar as características dos ocupantes da edificação, incluindo a possibilidade da presença de pessoas com deficiência e/ou com dificuldade de mobilidade, que podem necessitar de auxílio de terceiros nos casos de evacuação. Em situações de risco iminente, é fundamental que existam pessoas bem instruídas, treinadas e preparadas, que compreendam os sinais de alerta, assumam uma posição de liderança e sirvam de guia para os demais, sinalizando os melhores caminhos, as possibilidades de proteção existentes e as ações mais eficazes a serem tomadas.

2.1.1 Processo de evacuação

Kinateder *et al.* (2015) dividem o processo de evacuação em três momentos significativos: pré-alarme, pré-evacuação e evacuação propriamente dita. A Figura 1 representa estas fases, as respostas dos ocupantes em relação ao fogo, assim como o ASET (*Available Safe Evacuation Time* ou Tempo Disponível para Evacuação Segura) e o RSET (*Required safe Evacuation Time* ou Tempo Requerido para Evacuação Segura).

Figura 1 – Etapas de evacuação e sequência de resposta do ocupante ao fogo



Fonte: Adaptado de DiNenno *et al.* (2002), Kinateder *et al.* (2015) e ISO (2009).

A etapa de pré-alarme refere-se ao período de ativação automática do alarme ou provocada por algum usuário. É a fase inicial do processo, na qual é identificada e notificada a situação de emergência para alertar os ocupantes. A etapa de pré-evacuação é o período do efetivo funcionamento do alarme, seguido do momento da tomada de decisão de abandonar ou não o local, e pode ser mais longa do que a etapa de evacuação.

Além da forma como os ocupantes percebem situações de risco e reagem a elas e do tempo disponível para o esvaziamento, outros fatores dificultam o abandono dos locais, tais como as características espaciais do local e sua utilização, o elevado número de ocupantes, a dependência física e psíquica dos usuários, a complexidade de gerenciar multidões e o próprio pânico. É necessário considerar dificuldades cognitivas e dificuldades espaciais para a organização de rotas que permitam o fluxo adequado e para que o deslocamento ocorra dentro de um espaço de tempo seguro e de forma ordenada.

Sendo o processo de evacuação um fenômeno altamente aleatório, sujeito à variabilidade de comportamentos humanos e a fatores de risco referentes a uma emergência, considera-se que as variáveis utilizadas para o dimensionamento das saídas estão relacionadas diretamente ao tempo necessário para atingir um local seguro antes que as condições ambientais se tornem críticas. A diferença entre o ASET e o RSET, denominada *margin de segurança*, é adotada para cálculos de engenharia de SCI na ISO 16738:2009.

A velocidade de deslocamento ou o tempo total para se evacuar uma edificação não são fáceis de se determinar, em função de diversas variáveis que permeiam uma situação de emergência, tais como a familiaridade com o edifício, a eficiência da sinalização de emergência, os aspectos comportamentais das pessoas, a densidade de ocupação (pessoas/m²), a composição da multidão (LARSSON *et al.*, 2021), a presença de chama e fumaça (FRIDOLF *et al.*, 2014), entre outras.

Desta forma, é essencial que, além de pessoas instruídas para orientar a evacuação, existam rotas bem planejadas, adequadamente dimensionadas e livres de obstáculos para possibilitar o esvaziamento rápido e seguro, impedindo ou mitigando os impactos negativos do sinistro.

2.1.2 Rotas de fuga

Para o sucesso da retirada de pessoas de locais sinistrados, o sistema de saídas de emergência deve estar isento de riscos desnecessários e oferecer condições de conforto mínimo e segurança ao usuário, visto que este é submetido à intensa carga física e emocional, para os quais normalmente não está preparado (ABOLINS; BIANCHINI; NOMELLINI, 2008). As rotas de fuga devem permitir o escoamento fácil dos ocupantes da edificação através de meios de escape dos ambientes e distâncias de caminhada limitadas e adequadas à ocupação e ao perfil dos prováveis usuários, possibilitando a saída de cada andar e a evacuação completa (horizontal e vertical).

Integram as saídas de emergência todos os caminhos ou circulações a serem percorridos pelos usuários de qualquer ponto da edificação até atingirem a via pública ou espaço aberto em comunicação com o logradouro. Esses trajetos podem ser exclusivos para emergências ou adotarem o acesso principal, conforme a edificação. Independentemente do uso esporádico, essas rotas devem ser mantidas desobstruídas e passar por manutenção periódica para verificar seu funcionamento seguro. Além disso, devem estar visíveis, sinalizadas e ser testadas em treinamentos, de forma a priorizar a segurança física das pessoas em relação a receios por motivos de segurança patrimonial (SILVA; CORRÊA, 2019).

As normas, em geral, prescrevem o dimensionamento das saídas de emergência (Descarga, Caminhamento, Circulação horizontal, Circulação vertical) em função do uso da edificação, das distâncias de percurso máximo e da lotação (quantidade de pessoas esperada dentro da edificação ou setor da edificação). As circulações horizontais (corredores) não devem apresentar desníveis ou obstáculos que possam causar acidentes e quedas. As portas que compõem as rotas de fuga devem abrir no sentido da fuga (de dentro para fora dos ambientes), não podendo reduzir a largura efetiva das circulações onde se situam.

As circulações verticais, como rampas, escadas e elevadores, também compõem as saídas de emergência. As escadas, por vezes, são responsáveis por trajeto distinto do ordinário da edificação, constituindo as escadas de emergência, as quais evitam a propagação vertical da fumaça e do fogo. Para circulação vertical, em geral, são impostas exigências complementares

referentes a materiais de acabamento e revestimentos, pisos antiderrapantes, vedações e compartimentações, guarda-corpos e corrimãos adequados. Ao tratar da circulação vertical, é importante considerar a possibilidade da presença de pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida, que podem demandar maior área de circulação e manobra, área de resgate ou até mesmo auxílio (de equipamento ou humano) para fuga. As escadas de emergência são exigidas conforme a classificação e altura da edificação, podendo ser do tipo não enclausurada (escada comum), enclausurada protegida, à prova de fumaça ou escada aberta externa.

As distâncias máximas de percurso (caminhamento) são condicionadas ao tipo de pavimento (piso de descarga ou não), à existência de chuveiros automáticos e/ou sistema de detecção automática de fumaça, bem como à existência de saída única ou mais de uma saída. A integração de SMSCI (Sistemas e Medidas de Segurança Contra Incêndio) possibilita a flexibilização das distâncias, permitindo que o projetista amplie as alternativas projetuais.

A descarga é a parte final da saída de emergência de uma edificação. Conecta a escada, rampa ou corredor ao logradouro público ou a área externa da edificação que precede ao logradouro público. Pode ser constituída por corredor, saguão, *hall*, átrio, ou área em pilotis. Complementando os componentes das saídas de emergência, são importantes, no processo de evacuação: iluminação de emergência, sinalização de emergência e alarmes.

2.2 ACESSIBILIDADE

O ser humano é diverso. As pessoas distinguem-se por características físicas, idade, gênero, cultura, etnia, raça, língua, nacionalidade, orientação sexual, habilidades cognitivas e sensoriais. Respeitar a diversidade humana e promover a inclusão efetiva, como um direito assegurado a todos, implica reconhecer as diferentes necessidades e formas de propiciar o acesso aos ambientes e a participação nas atividades e na construção do espaço social.

Ao projetar novos edifícios e ao reformar ou adequar espaços existentes, as diversidades culturais, cognitivas e corporais devem ser consideradas. É fundamental perceber e compreender que as habilidades do ser humano variam de acordo com a idade, a deficiência, o ambiente e as circunstâncias de uso dos mesmos (STORY; MUELLER; MACE, 1998).

No entanto, até a segunda metade do século 20, as pessoas com deficiência eram discriminadas em relação ao bem-estar e às oportunidades de emprego. O acesso aos edifícios era difícil e constituía por si só uma barreira à participação na sociedade. Da mesma forma, os benefícios associados às medidas de acessibilidade não eram valorizados. Alegava-se que os recursos de acessibilidade eram onerosos e que não justificavam os custos. Foi a partir de

meados do século 20 em diante que os movimentos de direitos humanos, campanhas e *lobbying* dos parlamentos impulsionaram o clima social e político, gerando guias abrangentes a respeito de padrões mínimos referentes ao acesso. Estas iniciativas tinham natureza voluntária e impacto limitado, tendo em vista a ausência de aplicação legal. Como exemplo, no Reino Unido, até 1987, não havia obrigação legal de fornecer acesso aos edifícios. Foi em 1987 que os Regulamentos de Construção passaram a exigir uma adequação “razoável” para que as pessoas tivessem acesso a novos edifícios e os usassem. E apenas em 1991 passou-se a exigir que o acesso não fosse limitado apenas ao térreo, mas que os andares superiores dos edifícios públicos também fossem acessíveis. Em decorrência, foi explicitada a necessidade de orientação sobre a evacuação segura para pessoas com deficiência dos andares superiores (BOYCE, 2017).

Visando que todos os indivíduos possam usufruir dos mesmos direitos, o Decreto-Lei Federal 5.296/2004 estabeleceu a obrigatoriedade da consideração dos parâmetros apresentados pela NBR 9050 – *Norma Brasileira de Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos públicos*. Vale observar que a primeira versão da NBR 9050 data de 1983 e atualmente o catálogo da ABNT possui 42 normas relacionadas a acessibilidade. A Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Lei 13.146/2015) define:

acessibilidade – possibilidade e condição de alcance para utilização, com segurança e autonomia, de espaços, mobiliários, equipamentos urbanos, edificações, transportes, informação e comunicação, inclusive seus sistemas e tecnologias, bem como de outros serviços e instalações abertos ao público, de uso público ou privados de uso coletivo, tanto na zona urbana como na rural, por pessoa com deficiência ou com mobilidade reduzida (BRASIL, 2015).

Desta forma, independentemente de habilidades individuais, deve ser garantida e ofertada igualdade de condições a todas as pessoas, eliminando barreiras, respeitando a diversidade e proporcionando qualidade de vida. Neste trabalho, são consideradas as implicações espaciais no projeto arquitetônico resultantes da singularidade de distintos perfis populacionais. Para isso, é necessário compreender sobre diversidade humana, limitações funcionais, acessibilidade espacial e desenho universal.

2.2.1 Diversidade humana e limitações funcionais

É importante considerar a diversidade humana ao projetar o acesso e a saída de edifícios. Há normas e leis, como a Lei Federal 13.146/2015, que definem pessoas com mobilidade reduzida como sendo aquelas que, por qualquer motivo, apresentam dificuldade de

movimentação, permanente ou temporária, gerando redução efetiva da mobilidade, flexibilidade, coordenação motora ou percepção, incluindo-se idosos, gestantes, lactantes, pessoa com criança de colo e obesos. Estas pessoas podem utilizar algum dispositivo auxiliar (cadeira de rodas, bengala, muleta, andador), assim como podem demandar alterações no espaço para que possam utilizá-lo.

Além da mobilidade reduzida, há pessoas que possuem alguma deficiência. Conforme Boyce (2017), as definições de deficiência variam internacionalmente e evoluíram com o tempo, sendo que uma compreensão mais moderna da deficiência, conforme a Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde, reconhece que se trata de um fenômeno mais complexo, que reflete não apenas a funcionalidade / estrutura corporal, mas o contexto social e ambiental, e sugere que a deficiência pode ser permanente ou transitória.

Dischinger, Bins Ely e Piardi (2014) diferenciam os termos deficiência, incapacidade e restrição, defendendo que, em um ambiente acessível, não existe incapacidade para qualquer tarefa e o indivíduo não sofre restrição. As autoras conceituam a deficiência como uma disfunção no nível fisiológico do indivíduo, que resulta em perda ou redução de suas habilidades. Já a restrição é conceituada como dificuldade na realização de atividades devido à relação entre as condições do indivíduo e as características do ambiente no qual está inserido (as habilidades não são suficientes para transpor as barreiras do espaço). As pesquisadoras classificam as deficiências em quatro grupos distintos, associados às limitações funcionais: físico-motora, sensorial, cognitiva e múltipla. Na categoria físico-motora, estão usuários de cadeiras de rodas, muletas ou bengalas, assim como aqueles cuja alteração da capacidade de motricidade afeta a realização de atividades que demandam força física e/ou coordenação motora. Na categoria sensorial estão as pessoas com deficiências visual, auditiva, háptica (relativa à sensibilidade ao toque), paladar-olfativa e no sistema de orientação/equilíbrio. A categoria cognitiva inclui as pessoas que apresentam dificuldades para a compreensão e tratamento das informações recebidas, podendo ser afetadas em processos de aprendizado, comunicação e tomada de decisão. A categoria múltipla corresponde a pessoas com duas ou mais deficiências associadas.

Boyce, Shields e Silcock *et al.* (1999) abordam a previsão do número e das características das pessoas com deficiência passíveis de frequentar edifícios que recebem público, com ou sem assistência. Não foram encontradas pesquisas semelhantes para o Brasil, apenas dados populacionais do censo do IBGE (2010) e do PNS 2019 referentes ao Brasil, Santa Catarina e Florianópolis.

2.2.2 Acessibilidade Espacial e Desenho Universal

A acessibilidade ao espaço construído envolve medidas técnico-sociais destinadas a acolher todos os usuários em potencial, não se limitando a um conjunto de medidas voltadas apenas a pessoas com deficiência, pois isto pode até aumentar a exclusão espacial e a segregação destes grupos (DUARTE; COHEN, 2006). Dischinger, Bins Ely e Piardi (2014, p. 28) definem que

acessibilidade espacial significa bem mais do que poder atingir um lugar desejado. É também necessário que o local permita ao usuário compreender sua função, sua organização e relações espaciais, assim como participar das atividades que ali ocorrem. Todas essas ações devem ser realizadas com segurança, conforto e independência.

Visando melhor compreender a acessibilidade espacial e orientar as ações de avaliação e fiscalização do ambiente, Dischinger, Bins Ely e Piardi (2014) categorizam quatro componentes com diretrizes e características espaciais: Orientação espacial, Comunicação, Deslocamento e Uso. Para garantir que todas as pessoas possam utilizar determinado espaço ou percurso, é necessário que os quatro componentes² sejam atendidos em sua totalidade, pois a ausência de um desses componentes compromete os demais.

Uma das formas de promover ambientes acessíveis é empregando o conceito de Desenho Universal (DU), desenvolvido pelo arquiteto Ron Mace, que propõe que a concepção de produtos, ambientes, programas e serviços deve possibilitar o uso por todas as pessoas, sem necessidade de adaptação ou projeto específico, incluindo os recursos de tecnologia assistiva. São sete os princípios do DU: Equiparação nas possibilidades de uso; Flexibilidade no uso; Uso simples e intuitivo; Informação de fácil percepção; Tolerância ao erro; Baixo esforço; Dimensão e espaço para a aproximação e uso.

² O componente Orientação espacial refere-se a características ambientais que permitem aos indivíduos reconhecer a identidade e as funções dos espaços, de forma a definir estratégias para seu deslocamento e uso. Dependem tanto das configurações arquitetônicas e dos suportes informativos adicionais existentes, quanto das condições individuais de percepção, processamento de informações espaciais, tomada de decisões e ação. O componente Comunicação refere-se às possibilidades de troca de informações interpessoais, ou com auxílio de equipamentos de tecnologia assistiva, que permitam o acesso, a compreensão e a participação nas atividades existentes. A avaliação das condições de comunicação é importante para melhorar a independência e autonomia. O componente Deslocamento refere-se à possibilidade de qualquer pessoa se movimentar ao longo de percursos horizontais e verticais de forma independente, segura e confortável, sem interrupções e livre de barreiras físicas para atingir os ambientes que deseja. O componente Uso refere-se à possibilidade efetiva de participação e realização de atividades por todas as pessoas. Muitas vezes, para o uso efetivo de espaços e equipamentos, é necessária a inserção de equipamentos ou dispositivos de tecnologia assistiva.

Uma edificação, para ser considerada acessível, deve atender aos sete³ princípios do DU, enfatizando autonomia, conforto e segurança. Para Rodrigues e Bernardi (2020), tanto a acessibilidade quanto o DU promovem justiça social ao garantir direitos fundamentais, individuais e coletivos no contexto edificado, sendo que o entendimento do aparato legal é de fundamental importância não apenas com a função de estabelecer diretrizes, mas também para difusão do conhecimento, suprindo as carências de seus intérpretes em situações de não compreensão das necessidades e singularidades das pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida. Os autores apontam que normas de acessibilidade ao meio físico são instrumentos para o desenvolvimento de projetos, obras e ambientes acolhedores e inclusivos.

Os profissionais responsáveis pela elaboração de projeto devem considerar, desde a fase inicial do trabalho, as questões relacionadas à acessibilidade, pois pequenos erros podem dificultar e impossibilitar o uso de determinado espaço por alguns usuários, resultando em espaços deficientes. É necessário eliminar barreiras que comprometam a participação de todos os indivíduos nos mais variados ambientes. Estas barreiras envolvem aspectos políticos, sociais e culturais, podendo ser classificadas como barreiras físico-espaciais (permanentes ou dinâmicas) ou barreiras atitudinais (relações interpessoais).

Estas considerações se aplicam ao acesso e à evacuação de ambientes, pois situações de risco geram pânico e potencializam as dificuldades de deslocamento de pessoas com ou sem limitações funcionais, visto que a mobilidade poderá estar reduzida temporariamente em função da luminosidade e do comportamento em pânico. Desta forma, ambientes acessíveis conferem melhores condições de movimentação em situações emergenciais para todas as pessoas, pois priorizam o desenho universal.

³ 1. Equiparação nas possibilidades de uso: Possibilidade de uso por diversas pessoas, independentemente de idade ou habilidade. Eliminando a segregação e a estigmatização, deve propiciar o mesmo significado de uso para todos.
2. Flexibilidade no uso: Atende, simultaneamente, a uma grande parte das preferências e habilidades das pessoas. Deve oferecer diferentes maneiras de uso, facilitar a precisão e destreza do usuário e possibilitar o uso por pessoas com diferentes tempos de reação a estímulos.
3. Uso simples e intuitivo: Possibilita que o uso seja de fácil compreensão e utilização, dispensando experiência, conhecimento, habilidades linguísticas ou grande nível de concentração por parte das pessoas.
4. Informação de fácil percepção: Informações vitais e em diferentes modos (visuais, sonoros, táteis) devem ser redundantes, legíveis e maximizadas, de forma a serem percebidas por pessoas com diferentes condições (cegos, surdos, analfabetos, estrangeiros, entre outros).
5. Tolerância ao erro: Possibilita que se minimizem os riscos e consequências adversas de ações acidentais ou não intencionais. Os elementos ou ambientes que apresentam risco devem ser isolados, eliminados ou sinalizados, e devem ser fornecidas opções de minimizar as falhas e evitar ações inconscientes em tarefas que requeiram vigilância, assim como devem ser oferecidos equipamentos para solicitação de ajuda.
6. Baixo esforço: Possibilita oferecer condições de uso de maneira eficiente e confortável, com o mínimo de fadiga muscular do usuário, priorizando a manutenção da postura corporal neutra, uso de força de operação razoável, minimização de ações repetidas e minimização da sustentação do esforço físico.
7. Dimensão e espaço para a aproximação e uso: Ter dimensão e espaço apropriado para aproximação, alcance, manipulação e uso, independentemente de tamanho de corpo, postura e mobilidade do usuário.

2.3 LIMITAÇÕES FUNCIONAIS EM SITUAÇÃO DE EVACUAÇÃO EMERGENCIAL

A mudança demográfica na dinâmica do fluxo de caminamento, em função da diversidade de perfis de usuários, tem impacto potencial na velocidade de movimento, no aumento do espaço necessário e na forma como as pessoas se relacionam entre si durante a fuga. Para avaliar os impactos das distintas alternativas de abandono de edificações influenciadas pelo projeto arquitetônico das rotas de fuga, é necessário considerar estes parâmetros.

Bukvic *et al.* (2021) e Sharma *et al.* (2021) associam limitações funcionais a implicações relacionadas às atividades de evacuação. No primeiro estudo, é apresentada revisão bibliográfica associando atividade de evacuação à Classificação Internacional de Funcionalidade (CIF) firmada pela OMS. No segundo estudo, são indicadas soluções alternativas para evacuação conforme limitação funcional, avaliando custo, segurança, complexidade e usabilidade. Ambos os estudos reconhecem quatro principais grupos de limitações funcionais com implicações no processo de evacuação emergencial de edificações: auditiva, cognitiva, visual e de mobilidade. Além destes há menção a limitações de fala (comunicação com outros / serviço de resgate) e olfato (cheirar pistas de emergência), que são pouco estudadas. É importante compreender as características e especificidades de cada grupo e das alternativas projetuais necessárias para melhor atendê-los, conforme estratégia de evacuação empregada. Desta forma, nos tópicos a seguir, para embasar o método de pesquisa proposto para este trabalho, serão abordadas considerações comportamentais relacionadas a limitações funcionais, estratégias de evacuação, requisitos espaciais e velocidades de fluxo.

2.3.1 Considerações comportamentais

Há registros de que o comportamento altruísta é comum durante as evacuações, sendo relatados episódios em que assistentes ou outras pessoas formam uma “gaiola humana” em torno de um indivíduo com movimento mais lento para protegê-lo da “pressão” indevida de outros evacuados (BOYCE, 2017). E há relatos de situações que sugerem a percepção de feridos e deficientes físicos nas escadas como obstáculos, demandando redução da velocidade de fuga, paradas e necessidade de desvios/contornos (AVERILL *et al.*, 2005 *apud* BOYCE, 2017).

A National Fire Protection Association – NFPA, em seu *Emergency evacuation planning guide for people with disabilities*⁴ (NFPA, 2016), leva em conta pessoas com dificuldades de deslocamento, deficiências de visão, audição e dificuldades cognitivas, problemas cardíacos ou respiratórios permanentes ou temporários, assim como grávidas e crianças. O guia especifica que o mínimo a ser considerado para o planejamento da evacuação para pessoas com deficiência em situação de emergência envolve a forma de notificação da emergência, a definição do caminho/rota de evacuação (e respectivas indicações), o meio de deslocamento (autônomo, auxiliado por outra pessoa ou por dispositivos mecânicos) e respostas às perguntas “Quem? Como/Por que meio? Onde/Por onde? Quando?”.

Observa-se que, para uma resposta eficaz de evacuação emergencial, além de medidas relativas à edificação (condições de resistência e reação ao fogo dos componentes do próprio edifício), é fundamental conciliar a gestão da segurança com formação e treinamento adequados de seus utilizadores, visto que a restrição ou a limitação na mobilidade pode demandar soluções mais elaboradas de logística, envolvendo maior número de pessoas. Como uma das medidas de gestão, Houston *et al.* (2009) recomendam que o número de pessoas com deficiência e/ou mobilidade reduzida seja conhecido, bem como o tipo de necessidade, o que torna possível criar um registro que identifique o risco setorialmente e indique as melhores alternativas de evacuação para cada caso.

Associando a fase de evacuação a limitações funcionais, SMSCI e propostas de soluções para evacuação a partir de Bukvic *et al.* (2021) e Sharma *et al.* (2021), observa-se que, nas fases de pré-alarme e pré-evacuação, as limitações mais atingidas são a auditiva e a visual, que podem ser atendidas com a implantação de sistema de alarme com luzes estroboscópicas, vibratório ou audível e com sinalização de abandono de local com transmissão de voz. Ainda na fase de pré-evacuação, as limitações auditiva e cognitiva podem ser prejudiciais em relação à comunicação com outros e com serviço de resgate, sendo importante considerar estes aspectos na formulação de brigada de incêndio e plano de emergência, de forma a garantir forma de comunicação e acompanhamento adequados. Tanto na fase de pré-evacuação quanto no período de deslocamento, as limitações auditiva, cognitiva e visual demandam atenção especial em relação à localização dos sinais de saída, sendo necessário reforçar os sistemas de sinalização de abandono de local, iluminação de emergência e a brigada de incêndio, para que as edificações possam contar com planta de emergência, sinalização tátil, mapa tátil e acompanhamento por terceiros. O período de deslocamento também deve considerar as limitações cognitiva, visual,

⁴ Guia de planejamento de evacuação emergencial das pessoas com desabilidades.

de extremidade superior e de mobilidade, para permitir a movimentação horizontal e em curvas, assim como o uso de elevadores e escada ou até mesmo a movimentação para uso de dispositivos auxiliares de transporte ou carregamento manual. Neste sentido, deve ser dada atenção tanto ao sistema de saídas de emergência, quanto ao controle de materiais de acabamento e revestimento, à compartimentação, à brigada de incêndio e ao plano de emergência, contemplando elevador de incêndio, sinalização tátil, área de refúgio e fuga assistida.

Além dos aspectos de cada fase em específico, durante as três fases de evacuação devem ser consideradas as condições para orientação dos trajetos por pessoas com limitações visuais e cognitivas, assim como as possibilidades de encontro de elementos arquitetônicos por pessoas com limitação de Extremidade Superior e as alternativas de abertura de portas por pessoas com limitação de mobilidade e de Extremidade Superior. Desta forma, o quadro 1 associa limitações funcionais a atividades durante a evacuação, indicando perfis de ocupantes estudados nesta dissertação. Na sequência, são expostas considerações específicas conforme o tipo de limitação funcional.

Quadro 1 – Perfis de ocupantes estudados, conforme limitação funcional

Limitação funcional	Perfil de ocupante	Atividades durante evacuação			Assistência
		Pré-alarme Percepção	Pré-evacuação Orientação	Deslocamento Mobilidade	
Ausente	Ambulante genérico (não responsável pela assistência de evacuação) ou pessoa que presta auxílio (brigada ou equipe de emergência)	Autonomia	Autonomia	Autonomia	Desnecessária
Auditiva	Pessoa com deficiência auditiva ou pessoa usando fone de ouvido/protetor auricular	Limitada para notificação	Autonomia	Autonomia	Notificação
Cognitiva	Ocupante ambulante assistido que necessite auxílio para percepção do incêndio e orientação para o deslocamento	Limitada	Limitada	Autonomia	Notificação e Localização
Visual	Ocupante com baixa visão sem auxílio de dispositivo complementar; pessoa com bengala de rastreamento; pessoa com cão guia; pessoa com acompanhante	Relativa	Relativa	Autonomia	Localização
Mobilidade	Pessoa em marcha lenta sem uso de dispositivo auxiliar ou pessoa com uso de dispositivo auxiliar: muletas, bengala, andador, cadeira de rodas (elétrica, manual ou empurrada)	Autonomia	Autonomia	Limitada	Deslocamento

Fonte: Elaborado pela autora.

2.3.1.1 Limitações auditivas durante evacuação emergencial

Pessoas com alguma limitação auditiva, durante um processo de evacuação, podem ser mais vulneráveis no momento de pré-alarme e pré-evacuação, visto que podem ser prejudicadas por não ouvir o alarme e por apresentarem alguma dificuldade em relação à comunicação com os outros, incluindo o serviço de resgate. O atraso no reconhecimento do alerta pode comprometer a segurança, sendo necessária uma detecção precoce e um alarme perceptível visual ou vibratório, além dos baseados em som (BRUCK; THOMAS, 2009). A sinalização gráfica e o treinamento de pessoas que se comuniquem em Língua Brasileira de Sinais (Libras) auxiliam no pré-movimento.

Kecklund *et al.* (2012), em pesquisa com grupo focal composto por pessoas com deficiência auditiva, ressaltam a importância de que o alarme e a notificação de emergência não sejam apenas sonoros, sendo indicada a complementação com luzes intermitentes e, de preferência, com um som de baixa frequência. Os autores relatam que não foram indicados problemas referentes ao deslocamento ao longo da rota de fuga. Esse trabalho indicou ainda que a deficiência auditiva, em alguns casos, passa despercebida, pois o aparelho auditivo pode não ser visto facilmente entre o cabelo, e as pessoas com este tipo de limitação podem não se sentir à vontade de informar sua chegada a uma equipe ao visitar um prédio. Pessoas idosas também devem ser contempladas em relação a limitação auditiva, como propõem Huey *et al.* (1996) ao abordar o desempenho da detecção de sons de alarme por idosos em suas residências.

2.3.1.2 Limitações cognitivas durante evacuação emergencial

Pessoas com alguma limitação cognitiva, durante um processo de evacuação podem ser mais vulneráveis em relação a percepção e orientação para iniciar o deslocamento (pré-evacuação) e ao longo do trajeto de fuga (tempo de deslocamento), visto que podem ser prejudicadas por apresentarem alguma dificuldade em relação à comunicação com os outros, incluindo o serviço de resgate, além de dificuldade em localizar sinais de saída, usar elevadores de evacuação e se orientar espacialmente. Como alternativa para estas possíveis barreiras, é indicado auxílio e acompanhamento por outra pessoa, sinalização e trajetos simplificados, comunicação clara.

Estudos relativos a pessoas idosas apontam relação entre Doença de Alzheimer e dificuldade de encontrar o caminho para um destino em um ambiente familiar ou desconhecido usando quaisquer pistas fornecidas pelo ambiente. Passini *et al.* (2000) sugerem alternativas de

design para lares de idosos com Alzheimer. Deshpande *et al.* (2009), Fitzpatrick *et al.* (2007) e Kikkert *et al.* (2016) associam velocidade de caminhada ao declínio cognitivo em idosos.

2.3.1.3 Limitações visuais durante evacuação emergencial

Pessoas com alguma limitação visual, durante um processo de evacuação, podem ser mais vulneráveis a percepção e orientação para iniciar o deslocamento (pré-evacuação) e ao longo do trajeto de fuga (tempo de deslocamento), visto que podem ser prejudicadas por não ver pistas de emergência, por apresentarem alguma dificuldade em localizar sinais de saída, usar escadas, encontrar elementos arquitetônicos, abrir portas, manter/mudar de direção e se orientar espacialmente. O atraso no conhecimento do alerta pode comprometer a segurança, sendo importante uma detecção precoce e um alarme perceptível baseado em som ou vibratório. Para auxiliar a orientação e deslocamento, além da sinalização e mapas táteis, pode ser indicado o acompanhamento por outra pessoa.

Samoshin e Istratov (2014), através de questionários e observações de vídeo, abordaram a segurança de pessoas com deficiência visual em caso de incêndio, constatando que a familiaridade com a rota de saída é um fator chave para a segurança das pessoas com deficiência visual. A evacuação pode ser falha se a rota familiar estiver bloqueada e o número de funcionários for insuficiente.

Sørensen e Dederichs (2015) investigaram velocidades de caminhada para pessoas cegas e com deficiência visual, observando que os resultados para a velocidade média de caminhada livre na horizontal dependem do grau de perda da visão: Quanto maior a perda visual, menor a velocidade. Em relação aos impactos de elevação de densidade de ocupação, a velocidade de caminhada com a presença de pessoas com deficiência é mais afetada do que nos casos apenas com adultos saudáveis. Além do levantamento de valores de velocidade, as autoras observaram que o projeto do ambiente do edifício é importante para a capacidade de orientação de pessoas com visão reduzida, sendo que paredes e corrimãos são importantes para as possibilidades de auto-orientação destas pessoas. Obstáculos colocados no trajeto da fuga são mais problemáticos para esse grupo de pessoas, visto que não conseguem ajustar antecipadamente sua trajetória para evitá-los, pois precisam do contato físico com o objeto para registrá-lo.

2.3.1.4 Limitações de mobilidade durante evacuação emergencial

Pessoas com alguma limitação de mobilidade, durante um processo de evacuação, podem ser mais vulneráveis em função do tempo maior demandado para seu deslocamento, da distância a ser percorrida e de estratégias empregadas para superar desníveis e deslocamento vertical. Para auxiliar o deslocamento, pode ser indicado o acompanhamento por outra pessoa, o uso de dispositivos auxiliares de apoio e transporte para fuga assistida, o uso de elevadores de emergência e área de resgate ou refúgio para proteção no local.

Butler *et al.* (2017) apontam a necessidade de incluir pessoas com deficiências de mobilidade no planejamento e execução de evacuações de incêndio e facilitar sua capacidade de autoevacuação tanto quanto possível.

2.3.2 Estratégias de evacuação

Neste trabalho, são abordadas as principais estratégias facilitadoras relacionadas à evacuação de pessoas com limitações, considerando a fuga com autonomia e a fuga assistida. No caso da fuga com autonomia, são consideradas as alternativas em que é possível abandonar a edificação por si próprio ou com auxílio de algum dispositivo auxiliar individual que não requeira a ajuda de terceiros. Estes são os casos em que o caminhar é apenas horizontal ou a circulação vertical é provida de rampas ou elevadores adequados para emergência. No caso da fuga assistida, são considerados os casos em que a pessoa necessita de auxílio de terceiros para poder abandonar a edificação, seja por sua condição física, estado de adormecido ou edificação com resgate apenas por escadas. As principais estratégias empregadas para evacuação de pessoas com limitações funcionais são: uso de elevadores, uso de áreas de resgate e refúgio, fuga assistida

2.3.2.1 Uso de elevadores

Conforme Duarte, Ono e Silva (2021), diferentemente de elevadores para uso comum (nos quais há placa “Proibido utilizar o elevador em caso de incêndio”), o elevador de emergência pode ser definido como um equipamento dotado de alimentação elétrica independente da chave geral da edificação, com comando específico, instalado em local próprio com antecâmara, permitindo sua utilização, em casos de emergência, para acesso aos diversos andares de uma edificação.

Em relação ao uso, conscientização, confiança e disposição para utilizar elevadores em situação de fuga, Boyce (2017) indica que, no Reino Unido, é sugerido que os elevadores de combate a incêndio possam ser usados para a evacuação de pessoas com deficiência antes da chegada do serviço de bombeiros e que outros elevadores distantes do fogo possam ser usados após as avaliações de risco apropriadas terem sido realizadas. Kinsey, Galea e Lawrence (2012) e Butler *et al.* (2016) sugerem que há preocupações com o uso de elevadores para evacuação, indicando que a maioria das pessoas, mesmo informadas sobre a segurança para uso do equipamento, não considerariam usar um elevador para evacuar e que a decisão pelo uso do equipamento pode ser influenciada em parte pelo reconhecimento das limitações físicas, idade, IMC e altura do piso – a partir de 40 andares o uso dos elevadores é mais aceitável, de acordo com Kinsey, Galea e Lawrence (2012). Butler *et al.* (2016) apontam como receios: falha no fornecimento de energia, abertura das portas no piso de incêndio, sobrecarga do elevador e possibilidade de ficar preso no interior da cabine. Entre os benefícios reconhecidos, inclui-se proporcionar segurança (comparativamente a ser carregado ou descer), sensação de alívio em relação à redução do tempo de espera, reconhecimento de poder sair com seu dispositivo de mobilidade, maior capacidade de comunicação, velocidade, independência e eficiência.

2.3.2.2 *Uso de áreas de resgate e refúgio*

Áreas de resgate são locais seguros temporários, no interior da edificação, onde os ocupantes podem aguardar assistência para o abandono ou mesmo descansar após um longo percurso por corredores e escadas para completar a evacuação em direção a um local seguro. Conforme Seito *et al.* (2008), no Brasil, as áreas de refúgio são consideradas uma medida de proteção adicional em edifícios altos, devendo ser isoladas por portas e paredes corta-fogo (compartimentadas) no interior do edifício e providas de ventilação. A disposição de áreas de refúgio na edificação depende da estratégia para o abandono do edifício proposta pelo projetista e de exigências de regulamentações locais. Podem existir áreas de refúgio em todos os pavimentos ou uma a cada conjunto de pavimentos.

O uso de área de resgate está associado a escadas protegidas de emergência. Valentin e Ono (2014) alertam que nem todas as edificações são obrigadas a ter este tipo de escada, apontando que, nos casos em que as escadas comuns também servem para emergência, os efeitos da provisão de área de resgate são nulos, visto que, sem a compartimentação, não é oferecida proteção dos efeitos do incêndio.

Nos casos em que há áreas de refúgio ou resgate, elas devem possuir um sistema de comunicação e não devem reduzir a largura da rota de fuga necessária ou obstruir o fluxo de outras pessoas. Em relação ao dimensionamento destas áreas, elas devem acomodar e permitir a manobrabilidade de uma pessoa em cadeira de rodas, sendo que as regulamentações internacionais variam quanto ao número ou tamanho dos refúgios, por considerarem ou não grupos de usuários de cadeiras de rodas em um mesmo pavimento e/ou espaço para acompanhantes ou pessoas com mobilidade reduzida que não usam cadeiras de rodas.

Sobre o uso destes espaços, Levin e Groner (1992 *apud* BOYCE, 2017) foram os primeiros a considerar os aspectos do comportamento humano no uso de áreas de refúgio. Eles relatam que os usuários aceitaram o conceito, se implementado corretamente, mas reconhecem o incremento na complexidade do projeto e dos procedimentos de resposta a emergências. Assim, sugerem que as áreas de refúgio só sejam implementadas quando for dada atenção às necessidades de informação dos ocupantes do edifício. Os autores indicam a importância da atenção às necessidades psicológicas e físicas dos usuários, apontando a necessidade de prover-lhes informação sobre as características das áreas de refúgio, para aumentar a confiança em seu uso. Outro problema apontado foi a falta de assento para usuários com mobilidade reduzida, para os quais a espera em pé por longos períodos seria inviável.

Outro estudo, citado por Boyce (2017), foi realizado em 2008 por pesquisadores do Reino Unido que consultaram uma pequena amostra de profissionais de construção (projetistas e gerentes) e usuários com deficiência, para avaliar o sucesso e a adequação dos refúgios e procedimentos de gerenciamento associados. Este estudo confirmou a falta de compreensão e a preocupação das pessoas com deficiência quanto ao uso de áreas de refúgio e estratégias para sua evacuação. Os relatos de pessoas com cadeira de rodas que usaram um refúgio em condições reais de emergência destacaram alguns problemas, como falta de clareza quanto ao procedimento de evacuação e sentimento de isolamento por falta de comunicação adequada. Em registros de experiências positivas foi relatada a espera com algum acompanhante.

A respeito do nível de consciência, compreensão, preocupações e vontade de pessoas com mobilidade reduzida em usar um refúgio em caso de emergência, McConnell e Boyce (2015) e Carattin e Tatano (2015) indicam que, no Reino Unido, apenas 59% da população já ouviu falar do termo *refúgio* aplicado à segurança em incêndios e, dos que já ouviram, pouco menos da metade compreendeu vagamente o seu significado. Na Itália, os resultados foram ainda mais baixos, com apenas 17% das pessoas reconhecendo o significado do termo no contexto considerado. McConnell e Boyce (2015) relatam que, após explicado o conceito de refúgio, 78,6% manifestaram vontade de usá-lo, e que as principais preocupações se

relacionaram ao esquecimento, ao medo de ser deixado sozinho e à segurança do refúgio. Em relação ao tempo que os participantes se dispuseram a esperar em um refúgio, a disponibilidade de informações sobre o que está acontecendo aumenta o tempo de espera.

Boyce (2017) informa que, no caso do atentado ao World Trade Center, em 2001, há relatos do uso de um piso específico para espera de pessoas com mobilidade reduzida, de forma a evitar bloqueios em escadas e patamares. É relatado que, mesmo assim, vários ocupantes com mobilidade reduzida esperaram em escadas e patamares para obter assistência e que do quantitativo de pessoas que utilizaram o pavimento indicado para espera por instrução ou assistência, metade era compostas de amigos e colegas de trabalho que decidiram aguardar junto às pessoas com limitação de mobilidade. A autora ainda destaca que alguns países, como China, Hong-Kong, Qatar, Coréia e Cingapura exigem a provisão de pisos de refúgio em edifícios altos para atuar como um local seguro para um breve descanso antes de continuar a descer, atuar como um local de reunião caso todas as escadas se tornem inutilizáveis e atuar como uma área para aqueles que necessitam de assistência para aguardar uma passagem segura. No caso de áreas de refúgio é fundamental que, além do espaço físico destinado, sinalizado e informado, haja a gestão e planejamento que evidencie a quem é atribuída a responsabilidade de ajudar as pessoas.

2.3.2.3 Fuga assistida

Em edifícios onde haja a necessidade de rota de evacuação com circulação vertical e não existam rampas nem elevadores adequados para a autonomia do abandono por pessoas que não consigam usar escadas, deve ser prevista a assistência por outras pessoas e/ou equipamentos para auxiliar a movimentação nas escadas. Esta será uma responsabilidade da gestão do edifício, e existe uma gama de opções para ajudar aqueles que são ambulantes e não ambulantes.









Na evacuação do World Trade Center, em 2001, há registro de: importância de um Plano de Evacuação de Emergência Pessoal (PEEP); organização de assistência feita por colegas, formando escudo protetor para auxílio na descida de pessoa com mobilidade reduzida utilizando corrimão e bengala; e experiência de evacuação de um tetraplégico usuário de cadeira de rodas elétrica para evacuar com auxílio de uma cadeira de evacuação (BOYCE, 2017). No caso do agrupamento entre os colegas para o controle das pessoas ao redor, houve a necessidade de realizar paradas durante os trechos, e a taxa média estimada de velocidade de descida de escada foi muito menor do que a média e a mediana das velocidades normalizadas. Na

experiência com a cadeira de evacuação foi destacada a força de trabalho necessária para utilização deste equipamento em distâncias longas.

A evacuação do Museu Ulster em 1988, na Irlanda do Norte, relatada por Boyce (2017) registra a evacuação de pessoas em cadeira de rodas por elevador, por escada com auxílio de dois assistentes e por escada com recusa de auxílio. A autora destaca que, durante a evacuação assistida, os assistentes não eram treinados, mas obtiveram sucesso e, no caso em que houve a recusa de auxílio, esta se deu por falta de confiança nas habilidades da equipe de ajuda, o que resultou uma pessoa, embora incapaz de andar, insistir em assumir o controle de sua própria evacuação, abrindo caminho escada abaixo. Outro ponto destacado foi a permanência de pessoas em cadeira de rodas e cuidador em patamar obstruindo parcialmente a passagem dos ocupantes do piso em direção às escadas, assim como fluxo restrito nas escadas devido à evacuação assistida de PCR e ao contrafluxo nas escadas quando do retorno dos cuidadores para auxílio de outro PCR.

Nos casos em que há ocupantes que necessitam ser acompanhados ou transportados, diversas são as possibilidades de transporte manual e de dispositivos auxiliares, que variam em relação ao número de assistentes necessários. O quadro 2 ilustra alguns exemplos:

Quadro 2 – Exemplos de acompanhamento e transporte de pessoas em evacuação assistida

<p>Técnicas de acompanhamento para pessoa com deficiência visual</p>  <p>Ref. Zanut e Pcorella</p>	
<p>Transporte de criança</p>  <p>Ref. Zanut e Pecorella</p>	<p>Transporte com uma cadeira simples</p>  <p>Ref. Zanut e Pecorella</p>
<p>Técnicas de traslado de cadeira de roda para transporte manual</p>  <p>Ref. Zanut e Pecorella</p>	<p>Pessoa transportada em uma cadeira de rodas</p>  <p>Ref. Valentin e Ono (2014)</p>
<p>Pessoa transportada em uma cadeira de evacuação</p>  <p>Ref. Hunt <i>et al.</i> (2020)</p>	<p>Pessoa transportada em uma cadeira de transporte</p>  <p>Ref. Hunt <i>et al.</i> (2020)</p>
<p>Pessoa transportada em prancha / folha de resgate portátil</p>  <p>Ref. Hunt <i>et al.</i> (2020)</p>	<p>Pessoa transportada em maca de mão</p>  <p>Ref. Hunt <i>et al.</i> (2020)</p>

Fonte: Elaborado pela autora.

Em relação ao auxílio em uma cadeira de evacuação, McConnell e Boyce (2015) apontam que, apesar de aceito e relatado que a confiança em usar uma cadeira de evacuação foi maior do que em usar sua própria cadeira de rodas, o dispositivo pode não ser apropriado para todos. Há relatos de que os medos relacionados ao uso da cadeira de evacuação incluem cair, ferir-se ou colocar outras pessoas em perigo, assim como a perda do dispositivo próprio de mobilidade. A confiança nos assistentes, a ser desenvolvida por meio de treinamento e prática,

ameniza os temores e o conflito entre o risco percebido de lesão ao ser transportado e o desejo de ter independência e controle sobre o próprio destino (BOYCE, 2017).

Além da necessidade de que os assistentes transmitam confiança à pessoa transportada, é válido apontar que esse transporte demanda preparo físico. Lavender *et al.* (2014) pesquisaram as demandas físicas dos bombeiros que utilizam dispositivos portáteis de descida de escadas para evacuar ocupantes com mobilidade reduzida de arranha-céus. Os autores concluíram que há diferenças significativas entre os três tipos de dispositivos investigados no que se refere aos tempos de evacuação e às demandas físicas impostas aos evacuadores durante a descida de escadas, recomendando o uso de dispositivos de descida de escadas portáteis que permitam que o evacuador líder fique de frente ao descer as escadas. Complementando esta pesquisa, Lavender *et al.* (2015) investigaram seis dispositivos tipo trenó para descida de escada. Com exceção de um dispositivo inflável, os dispositivos operados por dois evacuadores tiveram maiores velocidades de descida do que aqueles operados por um único evacuador. Além disso, dispositivos com comprimentos gerais mais curtos tinham menos contatos de parede no patamar, e as alças integradas nas tiras foram as preferidas pelos evacuadores.

2.3.3 Requisitos e considerações espaciais

O tamanho, a forma do corpo, o uso de dispositivos auxiliares e a necessidade de fuga assistida têm implicações no espaço e podem afetar as densidades locais, influenciar a interação com outros pedestres e restringir o movimento, dependendo da largura das rotas de fuga e da possibilidade de ultrapassagem. Relativamente a tamanho e forma do corpo, Boyce (2017) aponta estudos que definiram a densidade não nas unidades usuais de pessoas/m², mas em termos da proporção da área horizontal projetada total dos indivíduos para a área do fluxo (m²/m²). Com a densidade assim definida, o aumento do tamanho do corpo resulta em um aumento efetivo na densidade, o que impacta o espaçamento interpessoal e, portanto, acarreta possíveis restrições ao movimento.

Em relação à obesidade, as projeções antropométricas variam internacionalmente, sendo reconhecido que a gordura corporal geralmente se acumula em torno da região média do corpo e havendo registros variáveis de elipses corporais de até 0,44m² (SPEARPOINT; MACLENNAN, 2012). Quanto aos requisitos espaciais dos indivíduos que utilizam dispositivos auxiliares de mobilidade e requerem mais espaço para percorrer os caminhos de viagem do que outros, Boyce (2017) ressalta que é importante que as informações não sejam restritas apenas a larguras, pois o comprimento também é importante no que diz respeito ao

fluxo e ao comprimento do passo, podendo variar se o movimento é no plano horizontal ou vertical, bem como na direção de deslocamento e uso do corrimão. A autora indica que há muitas técnicas para auxiliar usuários de cadeiras de rodas e outros a evacuar por escadas, mas destaca que, apesar das informações sobre as dimensões do equipamento auxiliar, faltam dados sobre a pegada real dos assistentes usando diferentes dispositivos e técnicas ou espaço necessário para a manobrabilidade.

Além da projeção dos indivíduos e seus equipamentos, é válido considerar o espaçamento interpessoal, que pode variar conforme o perfil ou grupo populacional. Thompson *et al.* (2020) aponta diferenças potenciais em como os adultos mais velhos e os indivíduos mais jovens se localizam uns em relação aos outros, sendo sugerido que o espaçamento interpessoal preferido de adultos mais velhos e mais jovens deve ser investigado.

Entre as principais dificuldades dos ocupantes durante a evacuação são indicados pequenos degraus e abertura de porta ao nível da subida e descida de escadas (BOYCE; SHIELDS; SILCOCK, 1999). Estas considerações espaciais relacionam-se à questão da provisão de espaço dos meios de circulação das rotas de fuga (corredores, escadas, rampas e elevadores) de modo a fornecer soluções que condicionam as alternativas de método de evacuação.

Hashemi e Karimi (2016), com base nos padrões do *Americans with Disabilities Act* (ADA⁵), propõem um índice de acessibilidade para diferentes elementos em um ambiente interno para o roteamento de PcD durante evacuações de emergência. Os requisitos considerados para os corredores são: largura; inclinação longitudinal e transversal; mudanças verticais e em nível; largura na aproximação/saída de uma curva de 180°; largura em uma volta de 180°; e saliência horizontal de objetos pendurados. Para escadas, foram considerados: largura; espelho do degrau; piso do degrau; largura na aproximação/saída de uma curva de 180°; largura em uma volta de 180°; e corrimãos em ambos os lados. A respeito de portas, foram pontuados: largura; altura do limiar da porta; distância de peças operáveis como maçanetas; distância da porta mais próxima e batente da porta até o chão; espaço de manobra perpendicular ao vão da porta; espaço de manobra paralelo ao vão da porta além do lado do trinco; espaço de manobra perpendicular ao vão da porta; portas giratórias, portões giratórios e catracas. Rampas foram avaliadas em relação a: largura; inclinação longitudinal e transversal; subida por lance entre patamares; largura na aproximação/saída de uma curva de 180°; largura em uma volta de

⁵ Lei dos Americanos com Deficiências.

180°; corrimãos em ambos os lados da rampa com uma elevação superior a 150 mm. Para os elevadores, foram consideradas a área e a dimensão mais curta.

2.3.4 Velocidades de fluxo

A maioria das orientações relativas à evacuação, nas instruções, normativas e códigos de segurança, referem-se à velocidade de caminhada horizontal desimpedida de 1,2 m/s, envolvendo principalmente indivíduos saudáveis e sem limitações funcionais em exercícios de evacuação e movimentos diários. No entanto, as velocidades de deslocamento individual sugerem ampla variação, principalmente conforme três critérios: perfil pessoal, tipo de superfície ou plano, distância percorrida (incluindo obstáculos e congestionamentos).

No que se refere ao perfil pessoal, além das diferenças entre gênero, idade e peso, há pessoas que se locomovem por conta própria com autonomia e sem auxílio de equipamentos, e outras que podem ter a mobilidade reduzida ou alguma deficiência ou doença que demande o uso de equipamentos ou auxílio de outra pessoa para se locomoverem. As velocidades de movimento que podem ser alcançadas por diferentes técnicas / dispositivos auxiliares, assim como as considerações espaciais necessárias para cada alternativa, variam e influem no fluxo da evacuação. Ressalta-se o impacto do treinamento para auxílio da locomoção e para confiança no processo de evacuação.

Relativamente ao tipo de superfície ou plano, são registradas variações de velocidade em relação a plano horizontal, vertical ou inclinado. No plano inclinado, podem ser tratadas rampas ou escadas. O sentido do trajeto também influi na velocidade, podendo ser ascendente ou descendente. Boyce *et al.* (1999) realizaram pesquisa com população mista incluindo ocupantes com dificuldade de locomoção, ocupante sem auxílio, ocupante com muletas; ocupante com bengala, ocupante com andador, ocupante com sem dificuldade, pessoa em cadeira de rodas elétrica, pessoa em cadeira de rodas manual, pessoa em cadeira de rodas manual assistida, ocupante ambulante com assistência e ocupante ambulante com dificuldade. Os autores registraram que, em vias horizontais, a movimentação com cadeira de rodas manual assistida tem a maior velocidade de deslocamento. No movimento ascendente e descendente de vias verticais e de rampas de evacuação, foi observado que a maior preocupação se refere a pessoas com deficiências visuais e auditivas, sendo a velocidade de deslocamento ligeiramente superior no movimento de descida em rampas, enquanto que, na subida, a via por escadas é mais rápida

Em relação à distância percorrida, quanto maior a distância, maior a possibilidade de fadiga e paradas para descanso. Boyce *et al.* (1999) destacaram a importância da inclusão dos tempos de repouso e de mudança de direção no cálculo do tempo de evacuação de pessoas com dificuldades de deslocamento. Também salientaram a importância dos acessórios de apoio ao deslocamento, como corrimãos, abertura das portas na direção do percurso de evacuação, e a influência das dificuldades visuais na evacuação.

A redução da capacidade de locomoção implica capacidade reduzida de caminhada, provável redução da velocidade e do tempo máximo antes de parar, bem como aumento no risco de queda (particularmente em pessoas mais velhas) e também na fadiga com o aumento na distância de viagem (SPEARPOINT; MACLENNAN, 2012; STEL *et al.*, 2003).

Shurin e Apakov (2001 *apud* BOE, 2017) estudaram experimentalmente relações de fluxo/densidade em escadas, mostrando fluxos reduzidos para determinadas densidades para idosos/pessoas com deficiência, em comparação com os sem deficiência, sendo que as diferenças diminuíram à medida que as densidades aumentaram, indicando influência da proximidade uns dos outros em relação a velocidades de caminhada desimpedida individuais. Estudo de Spearpoint e MacLennan (2012) mostra que, em baixas densidades, o tempo total de evacuação aumentou, mas, em densidades mais altas, as diferenças foram insignificantes visto que as filas, em vez das velocidades de caminhada individuais, definiram o tempo geral de evacuação. Furukawa *et al.* (2007) estudaram a influência da presença de idosos em situação de incêndio e suas implicações em relação à diminuição da sensibilidade e do movimento, tendo constatado diminuição da velocidade média de deslocamento e impacto da fadiga no processo de evacuação.

3 PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE ROTAS DE FUGA

Para reduzir os riscos e alcançar níveis aceitáveis de conforto e segurança, são elaborados códigos e regulamentos de construção, os quais desempenham papel fundamental para a qualidade do ambiente construído. Leis e normas orientam o processo projetual. O projetista, além de manter-se atento às leis e normas vigentes, assim como seus processos de revisão, deve buscar compreender o que fundamenta as regulamentações, visto que, em geral, o exigido é o mínimo, e um projeto bem elaborado pode ir além das prescrições estabelecidas. Com os avanços de tecnologia e com desenvolvimento de projetos baseados em desempenho, é possível desenvolver simulações computacionais que avaliem a eficiência dos preceitos normativos e o impacto de alternativas projetuais diferenciadas, para que possam ser testadas, substituídas ou alteradas antes da implementação ou da ocorrência de qualquer custo de obra, o que se alinha ao princípio da economicidade.

As estruturas regulatórias, os códigos de prática e as orientações de projeto podem variar internacionalmente e, no Brasil, até mesmo de um estado para outro. No entanto, o reconhecimento da necessidade de fornecer um sistema de saída (percursos e espaços protegidos) que garanta a segurança de pessoas expostas ao fogo é inerente em todo o mundo, sendo fundamental uma visão geral dos conceitos, métodos e estratégias usados em projetos de sistemas de saída de emergência. Conforme Seito *et al.* (2008), os Sistemas e Medidas de Segurança Contra Incêndio (SMSCI) para as edificações e áreas de risco podem ser classificados⁶ como: Prevenção de incêndio; Proteção contra incêndio; Combate a incêndio; Meios de escape; e Gerenciamento.

Para efetiva segurança contra incêndio, é necessária a presença balanceada de todas essas medidas, visto que elas influem no ASET e no RSET antes, durante e após a ocorrência de um sinistro. Caso uma edificação seja atingida por uma situação de emergência que demande

⁶ Prevenção de incêndio: controle de materiais de acabamento e revestimento; instalações de gás combustível (GLP e GN); instalações elétricas; controle de temperatura;

Proteção contra incêndio: isolamento de risco (separação entre edificações); compartimentação (horizontal e vertical); controle de materiais de acabamento e revestimento; detectores automáticos de incêndio; gerenciamento de riscos e plano de emergência; proteção estrutural contra incêndio;

Combate a incêndio: acesso de viaturas; proteção por extintores; sistema hidráulico preventivo; chuveiros automáticos (*sprinklers*); sistema de água nebulizada; sistema de espuma; sistema fixo de gases limpos e dióxido de carbono;

Meios de escape: saídas de emergência; sistema de pressurização de escadas; elevador de emergência; iluminação de emergência; sinalização de emergência; alarme de incêndio;

Gerenciamento: brigada de incêndio; gerenciamento de riscos e plano de emergência; controle e registro de público.

a evacuação dos ocupantes, os meios de escape e gerenciamento são primordiais para possibilitar a saída dos usuários e o acesso pelo Corpo de Bombeiros, sendo os meios de escape através do traçado de rotas de fuga o enfoque desta pesquisa.

A efetividade dos SMSCI é influenciada por decisões arquitetônicas e urbanísticas de projeto, em particular, as medidas de proteção passiva, que incluem desde a escala urbana até o detalhamento do interior de um edifício e podem acarretar custos adicionais à edificação, tanto em sua construção como durante o seu uso (ONO, 2019). Estas medidas são incorporadas à arquitetura e à construção e incluem diretrizes em relação ao sistema construtivo, organização, distribuição e geometria dos espaços, áreas de circulação, compartimentação, controle de materiais de revestimento e acabamento. De forma complementar, as medidas classificadas como proteção ativa contribuem para os SMSCI, sendo compostas por equipamentos e sistemas prediais que são ativados somente em situação de emergência, tais como sistemas de detecção, alarme e combate ao fogo.

A classificação das edificações é fundamental para definir os parâmetros de exigência das medidas de Segurança Contra Incêndio em Edificações (SCIE) e para regulamentação de cada sistema de proteção a ser aplicado. As características mínimas dos prédios designarão o nível adequado de proteção ao risco, visto que as medidas de SCIE dependem, cada uma, de características intrínsecas aos prédios e às atividades desenvolvidas para a definição de uma maior ou menor capacidade de resposta contra possível sinistro (RODRIGUES, 2016). Em geral, a classificação das edificações para exigência dos SMSCI é definida em função de: tipo de ocupação ou uso da edificação; grau de risco ou carga de incêndio; características geométricas de área total construída e altura ou número de pavimentos; capacidade de lotação.

Além destas características, é importante destacar a influência da data de construção da edificação, assim como da data de aprovação do projeto, visto que isso se relaciona às exigências da época, que podem ser distintas das obrigatoriedades atuais, exigindo adequações e/ou complementações. A idade da edificação também pode estar associada a um reconhecimento de valor cultural, que resulta na proteção de determinadas características do imóvel e entorno. A necessidade de adequar edificações aos condicionantes legais, para proporcionar maior acesso e segurança, pode demandar normativas específicas de regularização, as quais podem ser referentes a imóveis que não obtiveram aprovação quando edificados ou que passaram por mudança de uso, reforma ou ampliação. Nestes casos de pré-existência, as exigências podem diferenciar-se das voltadas para novas edificações, por questões de inviabilidade técnica, devendo ser priorizada a análise de risco e a viabilidade de compensações sistêmicas para avaliar as implicações de parâmetros distintos.

Cancelliere *et al.* (2018), ao abordar o Código Italiano de Prevenção de Incêndio (Decreto do Ministro do Interior, 3 de agosto de 2015), destacam os desafios de metas de segurança a serem adotadas em edifícios pré-existentes ou em atividades que serão modificadas para outras mais complexas, enfatizando que, nestas circunstâncias, há mais restrições e pode ser difícil atingir um nível aceitável de risco residual de incêndio por meio de regulamentos de incêndio baseados em prescrições. Os autores apresentam a alternativa implementada na Itália, em 2015, com um novo código, considerado híbrido, cujo método de projeto é mais orientado para o projeto baseado no desempenho de incêndio, em vez de códigos de incêndio prescritivos. Outra característica do Código Italiano de Prevenção de Incêndio é que, segundo Romano *et al.* (2019), ele é inclusivo.

Associando acessibilidade e segurança contra incêndio em normativas nacionais, Silva, Pinto e Holanda (2017) e Nascimento e Souza (2019) indicam conflitos e lacunas entre NBR 9077 e instruções normativas de Corpos de Bombeiros Estaduais em relação a NBR 9050. Em relação à acessibilidade, Silveira e Santiago (2018) e Barros, Faria e Silva Jr. (2018) abordam questões práticas, legais e técnicas envolvendo a reforma de edifícios, indicando alguns desafios de viabilidade técnica encontrados por limitações dimensionais, estruturais e financeiras, destacando como principais desafios as adaptações de sanitários, dimensões de ambientes, circulação interna (adaptação ou construção de rampas e adaptação para acesso vertical com elevador ou plataforma) e *layout* do mobiliário. No que tange à SCI, considerando as especificidades de edificações pré-existentes, no Brasil, alguns estados possuem regulamentações específicas para esta caracterização de edificação, com a finalidade de mitigar o risco de incêndio. Nestes regulamentos, são abordadas medidas compensatórias considerando a impossibilidade técnica, atestada por laudo de inviabilidade, para instalação de uma ou mais medidas de segurança contra incêndio. No que se refere a medidas compensatórias para saídas de emergência, estas costumam estar relacionadas à instalação de sistemas de detecção e alarme de incêndio, controle de fumaça, enclausuramento das escadas de emergência e instalação de porta corta-fogo nos acessos a rotas de fuga e escadas. O CBMSC possui instrução normativa específica para edificações existentes, a IN 05, a qual caracteriza edificações existentes e recentes, determina percentuais de ampliação e classifica, conforme a ocupação do imóvel, os SMSCI em Vital, Indispensável ou Adequável.

Para melhor compreender as possibilidades de uso dos regulamentos e métodos de dimensionamento relacionados a segurança e acessibilidade em evacuações emergências, a seguir, são descritos modelos de regulamentação, método prescritivo de dimensionamento de rotas de fuga e métodos de simulação computacional.

3.1 MODELOS DE REGULAMENTAÇÃO TÉCNICA

Existem três modelos de regulamentação técnica, os chamados prescritivos ou tradicionais, os híbridos, e os funcionais ou por desempenho. Os modelos prescritivos apresentam-se de forma mais estática, relacionados a parâmetros fixos definidos, de verificação simplificada. Os códigos prescritivos são compostos basicamente por requisitos que procuram especificar todos os diferentes componentes e dispositivos do sistema. No entanto, a contribuição de cada requisito para o nível de segurança fornecido pelo sistema não é conhecida, e as interações entre os componentes, geralmente, não são conhecidas ou levadas em consideração (CANCELLIERE *et al.*, 2018). Em casos com maiores restrições impostas, como edifícios pré-existentes, códigos e regulamentos de incêndio baseados em prescrições resultam em falta de flexibilidade, resultados conservadores e encargos de custos desnecessários (CANCELLIERE *et al.*, 2018).

Os modelos híbridos, considerados por alguns como modelos de transição, apresentam objetivos claros e definem parâmetros finais a serem atingidos, permitindo a apresentação de alternativas diferenciadas para atingir os objetivos, flexibilizando soluções. Estes modelos podem elencar sugestões de métodos de dimensionamento consagrados como alternativa para iniciantes no ramo. Cancelliere *et al.* (2018) apontam os benefícios do código italiano híbrido de prevenção de incêndio.

Os modelos baseados em desempenho ou funcionais são os mais dinâmicos, permitem a flexibilização e aplicação de conhecimentos científicos inovadores a partir de objetivos bem definidos. Em geral, este tipo de regulamento considera uma análise de risco. Rodrigues (2016), a partir de Tavares, Silva e Duarte (2002), sintetiza vantagens e desvantagens dos regulamentos prescritivos e dos regulamentos funcionais, segundo Quadro 3.

Quadro 3 – Vantagens e desvantagens de regulamentos prescritivos e funcionais

	Vantagens	Desvantagens
Regulamentos prescritivos	Análise direta e aplicação do que está estabelecido no regulamento	Recomendações sem os objetivos declarados, com apenas uma solução definida e pouco flexíveis à inserção de inovações
	Não são necessários engenheiros com qualificação específica	Torna impossível e desmotiva a busca por projetos mais eficientes, com menores custos
	Os agentes públicos de análise e fiscalização não necessitam de elevada qualificação a área	Desmotiva a qualificação dos projetistas e dos agentes de fiscalização, que somente “cumprem o que está escrito”
Regulamentos funcionais	Flexibilidade na introdução de soluções inovadoras	Dificuldade em definir critérios quantitativos
	Fácil harmonização com códigos e normas internacionais	Necessidade de treinamento e ensino, especialmente durante a implementação
	Possibilidade de projetos seguros com custo menor	Dificuldade para análise e fiscalização
	Incentivo à introdução de novas tecnologias no mercado	Dificuldade na validação das metodologias usadas para a quantificação

Fonte: Adaptado de Rodrigues (2016)

No Brasil, a maioria das normas são do tipo prescritivo, sendo pouco considerado o estabelecimento de normas baseadas em desempenho (FARIA, 2018). A hierarquização da legislação de SCIE no Brasil possui um nível crescente de detalhamento técnico: leis → decretos → regulamentações (resoluções técnicas, portarias e pareceres) → normas técnicas harmonizadas ou de outras associações ou instituições técnicas e científicas → especificações técnicas (RODRIGUES, 2016). Existem as normas técnicas brasileiras da ABNT (NBR) e as regulamentações técnicas de cada corpo de bombeiros militar estadual. As regulamentações técnicas, que detalham o projeto e a execução das medidas de SCIE em cada Estado são editadas de forma independente em relação às normas técnicas da ABNT. A ABNT não possui acervo contemplando todas as medidas de segurança contra incêndio e pânico existentes, nem atualiza suas normas em um padrão temporal que acompanhe a velocidade das inovações tecnológicas em segurança contra incêndio (RODRIGUES, 2016).

No caso da norma técnica NBR 9077 – *Saídas de emergência em edifícios* (ABNT, 2001), a última versão em vigor data de 2001, com o texto original do ano de 1993, apenas confirmado 20 anos depois. Desde 2001, houve alterações causadas pela norma técnica NBR 9050:2020 – *Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos*, a qual passou por três revisões desde o período de publicação da NBR 9077:2001. Além disso, o segundo maior incêndio do País em número de vítimas, a tragédia da Boate Kiss, em Santa Maria, em 2013, motivou a criação de Lei 13.425/2017. Porém, apesar das falhas referentes a saídas de emergência terem causado grande número de vítimas naquele evento, isso ainda não resultou na atualização da NBR 9077.

Os estados, por sua vez, apesar de terem suas regulamentações técnicas fundamentadas nas normas técnicas brasileiras nos assuntos em que existem os respectivos diplomas, ou internacionais nos demais casos, possuem maior autonomia e velocidade de adaptação para editar seus documentos. Com isso, buscam a atualização aos preceitos da construção civil. Apesar de estruturas muito semelhantes, decorrentes da mesma base técnica das normas brasileiras e internacionais, existem muitas divergências em requisitos pontuais entre as regulamentações estaduais, sem causa técnico-científica comprovada, como a distância máxima a percorrer para as saídas de emergência (RODRIGUES, 2016). Estas diferenças geram custos relevantes para as obras e contribuem para o descrédito do que está sendo exigido, por não haver explicação lógica do ponto de vista da engenharia de segurança contra incêndio. As revisões e atualizações das normas devem ser constantes e equilibradas entre todas as medidas de segurança contra incêndio e serem precedidas de embasamento técnico-científico para a aceitação e credibilidade no meio profissional, associada à garantia real de segurança para as pessoas.

3.2 DIMENSIONAMENTO PRESCRITIVO

Internacionalmente, os meios de escape são projetados seguindo os códigos prescritivos ou seguindo as orientações do projeto em apoio aos regulamentos funcionais, sendo que a natureza generalizada dos códigos prescritivos exigiu a adoção de suposições sobre fluxos e tempos adequados, os quais tiveram origem em pesquisas e eventos de muitas décadas atrás. Alguns pesquisadores, inclusive, pediram que seus dados fossem removidos de futuros guias de projeto, afirmando que eles não são mais aplicáveis às populações de hoje (BOYCE, 2017).

Entre as referências históricas reproduzidas nos códigos sobre rotas de fuga, Bukowski (2016) indica que o fluxo de 45 pessoas por unidade de largura (56 cm) por minuto tem origem em trabalhos de 1914, representando a largura dos ombros dos soldados em fila. Boyce (2017) indica que a largura de saída de 5mm/pessoa é baseada na suposição de um fluxo de saída de 80 pessoas/m/min e no objetivo de restringir o tempo de fluxo para 2,5 minutos (um tempo considerado aceitável após o que foi considerada uma evacuação bem sucedida do Empire Palace Theatre, em Edimburgo, em 1911). Estes valores ou valores semelhantes, apesar de revisões históricas de provisão de saída de emergência, são observados internacionalmente, variando ao determinar se o número de ocupantes para o cálculo tem por base cada andar individual ou o número total de prováveis ocupantes de toda a edificação por cada saída de emergência.

As normas e instruções técnicas brasileiras têm como base de dimensionamento para as saídas de emergência o conceito de unidades de passagem, no qual a largura das saídas é composta por um número de unidades de passagem que visa atender a um fluxo gerado pela movimentação da população servida (ONO, 2010). A NBR 9077 e as regulamentações estaduais, em geral, estipulam 0,55m para cada unidade de passagem, tendo como base uma elipse corporal de cerca de 0,276m², na qual o eixo maior físico seria aproximadamente 0,60m e o eixo menor 0,46m (ABOLINS; BIANCHINI; NOMELLINI, 2008). A partir desse conceito, os requisitos e critérios de dimensionamento são:

- Cálculo da população: conforme ocupação;
- Cálculo da largura das saídas: conforme ocupação;
- Distância a percorrer até uma saída: conforme ocupação, número de saídas e presença de chuveiros automáticos;
- Quantidade mínima de saídas: conforme ocupação e distância máxima a percorrer;
- Características das portas: largura mínima 80cm e conforme a população; abertura no sentido da fuga;
- Características dos corredores: largura mínima conforme ocupação;
- Características das rampas: largura mínima conforme ocupação; patamares de início e término, com inserção de patamares intermediários conforme associação entre altura e distância percorrida; inclinação conforme NBR 9050 (desníveis máximos de segmento de rampa com inclinação máxima de 8,33% para até 80cm de altura, inclinação entre 5% e 6,25% para até 100cm e inclinação máxima de 5% para até 150cm);
- Características das escadas: largura mínima conforme ocupação; tipo de escada conforme ocupação e altura da edificação; devem atender a fórmula de Blondel (profundidade do piso mais o dobro da altura do degrau deve resultar entre 63 e 65cm, sendo o piso entre 28 e 32cm, a altura do degrau ente 16 e 18cm) e possuir mesma dimensão de pisos e espelhos em toda a extensão;
- Corrimão e guarda-corpos: corrimão contínuo, em ambos os lados, a 0,92m e a 0,70m do piso, medidos da face superior até o bocel ou quina do degrau;
- Elevadores de emergência;
- Áreas de refúgio;
- Piso de descarga;

- Sistemas complementares: alarme de emergência; comunicação de emergência; iluminação de emergência de rotas de saída e sinalização de emergência;
- Condições específicas: acesso de viaturas de bombeiros ao lote; acessibilidade; pisos enterrados e sem janelas

Como parâmetro para o projeto são consideradas, além da população, a área útil do pavimento e a altura da edificação. Quanto mais alto o edifício, mais exigentes as medidas, como quantidade mínima de saídas de pavimento, nível de proteção dessas saídas e instalação de chuveiros automáticos. Rodrigues (2016) conduziu um estudo comparativo entre as regulamentações técnicas de todo o País sob três aspectos: classificação das edificações; parâmetros definidores da obrigatoriedade de implantação dos SMSCI; e detalhamentos técnicos exigidos para os SMSCI. O autor constatou que as atualizações são proporcionais à capacidade do corpo técnico e dos recursos científicos disponíveis para fazê-las em cada estado. Como resultado, para se tornarem obrigatórias, as medidas apresentam um conjunto de parâmetros de classificação muito diferente em cada estado. Em relação à classificação das edificações, foram levantadas como principais características a ocupação (atividades e uso da edificação), o grau de risco de incêndio (carga de incêndio) e as características geométricas (área construída e altura), sendo proposta ainda a classificação quanto às características construtivas (resistência e propagação do fogo) e quanto à população (lotação máxima e densidade).

Convém destacar que, desde 2017, a norma NBR9077 está em processo de revisão, no qual é proposta uma nova formulação de perfil de risco baseada nas características dos ocupantes da edificação e na velocidade de crescimento do fogo (NEGRISOLO, 2018). Para classificação dos ocupantes, são propostos critérios de estado de vigília, familiaridade com o local e mobilidade (capacidade de locomoção). Para velocidade de desenvolvimento do incêndio, são propostas as categorias lenta, moderada, rápida e muito rápida. Como se pode constatar, o eixo da classificação mudou da ocupação para o ocupante e se destaca a influência da velocidade de propagação do fogo e da fumaça. Desta forma, o poder público tem seu foco na proteção à vida, enquanto os agentes particulares e as seguradoras se encarregam da proteção aos bens.

A seguir, é apresentado o dimensionamento conforme a IN 09 do CBMSC, em vigor desde 31/07/2020 e com 4ª edição em 23/12/2021.

3.2.1 Critério de dimensionamento conforme IN 09 CBM SC, de 23/12/2021

Conforme a Instrução Normativa 09 do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, publicada em 01/06/2020, vigente a partir de 31/07/2020 e, no momento, em sua 4ª edição de 23/12/2021, o dimensionamento das escadas, rampas, portas, acessos e descarga é feito a partir do cálculo da população e do tipo de ocupação da edificação. O dimensionamento das saídas deve ser proporcional ao número de pessoas que transitarem pela edificação, e cada largura deve ser medida no ponto mais estreito, excluindo-se os corrimãos, que podem prolongar-se até 10cm de cada lado da passagem. A IN correlaciona-se com a NBR 9077 e estabelece:

- População ou lotação máxima da edificação;
- Dimensionamento das saídas;
- Distâncias máximas a serem percorridas dentro da edificação para se atingir um local seguro ou de relativa segurança;
- Quantidade e tipo de escadas de emergência;
- Previsão de área de refúgio;
- Especificação para elevador de emergência, passarela e reduto resistente ao fogo.

Para empregar a IN 09 CBMSC, é necessária associá-la com a IN 01 – Parte 2, para enquadramento da classificação das ocupações e verificação das exigências de SMSCI (para fins de exigência dos SMSCI, a altura do imóvel é a medida, em metros, do piso mais baixo ocupado ao piso do último pavimento). Como exemplo de ocupações classificadas na IN 01 – Parte 2, o quadro 4 exemplifica uma parcela de divisões associadas a características de prováveis ocupante e *layout* previstos.

Quadro 4 – Exemplo da classificação de ocupações

Grupo	Divisão	Característica esperada
A - Residencial	A2 - Multifamiliar vertical A3 - Coletiva	Ocupantes podem estar adormecidos
B - Serviço de Hospedagem	B1 - Hotel e assemelhado B2 - Hotel residencial	
C - Comercial	C2 - Comércio com média e alta carga de incêndio	Ocupante em estado de vigília, familiarizado ou não
D - Serviço profissional	D1 - Local para prestação de serviço profissional ou condução de negócios	
H - Serviço de saúde e institucional	H4 - Edificação Pública H6 - Clínica e consultório médico e odontológico	Ocupantes que recebem cuidados médicos ou especiais
H - Serviço de saúde e institucional	H2 - Local onde pessoas requerem cuidados especiais por limitações físicas ou mentais H3 - Hospitalar	
E - Educacional	E1 - Escola em geral E2 - Escola especial E5 - Pré-escola E6 - Escola para pessoas com deficiências	Ocupações em que ocupantes tendem a um agrupamento
F - Local de Reunião de Público	F1 - Local onde há objeto de valor inestimável F5 - Arte cênica e auditório F8 - Local para refeição	Layout menos compartimentado e mais diverso

Fonte: Elaborado pela autora.

O cálculo populacional é computado de acordo com os coeficientes de densidade populacional para cada um dos ambientes do pavimento, desprezando-se no cálculo as áreas de circulação, elevadores, escadas, rampas, antecâmaras e os locais sem permanência constante de pessoas, como áreas técnicas para locação e/ou manutenção de equipamentos, câmaras frias, silos, equipamentos para atividade física. A placa indicativa de lotação deve ser instalada em ocupações F-3, F-5, F-6, F-7, F-8 com lotação acima de 200 pessoas, F-11 e em eventos temporários.

O dimensionamento das saídas é calculado em função do número de pessoas que por elas devam transitar, considerando-se uma unidade de passagem como 55cm e a capacidade da unidade de passagem como o número de pessoas que passam pela unidade de passagem em 1 minuto. O anexo C da IN 09 estabelece o Coeficiente de densidade populacional para cálculo da lotação e a Capacidade de passagem (nº pessoas/unidade passagem/1min) para as diferentes ocupações. O quadro 5 exemplifica os dados da tabela 6 da IN09 CBMSC para algumas ocupações de forma associada.

Quadro 5 – Exemplo de dados da tabela 6 da IN09 CBMSC

Divisão	Coeficiente de densidade populacional para cálculo da lotação	Capacidade de passagem (nº pessoas/unidade passagem/1min)		
		Acesso e Descarga	Escada e Rampa	Porta
A2	2 pessoas/dormitório	60	45	100
A3, B1, B2	2 pessoas/dormitório 1 pessoa/4m ² de alojamento coletivo (mais de 10m ² de área)			
C2	1 pessoa/7m ²	100	75	100
D1 e H6			60	
H4		60	45	
E1	1 pessoa/1,5m ² sala de aula	100	60	100
E2	1 pessoa/2m ² sala de aula			
E6	1 pessoa/1,5m ² sala de aula	30	22	30
F1	1 pessoa/ 3m ² de área	100	75	100
F5	1 pessoa/m ² de área em locais sem assentos			
F8				

Fonte: Elaborado pela autora.

As portas e os acessos (circulação ou corredor) são dimensionados em função da população do pavimento a que servem. Escada, rampa e descarga são dimensionadas em função do pavimento da edificação de maior população, excluindo-se o pavimento de descarga. Para calcular a largura da escada de emergência, rampa, porta, acessos, descarga e passarela, emprega-se a fórmula $N = P/C$, onde N é o número de unidades de passagem, P é a população e C é a unidade de passagem. A largura da saída de emergência (em metros) é calculada multiplicando N por 0,55, sendo que a largura mínima das rotas de fuga horizontais (acessos como circulação ou corredor, descarga e passarela) deve ser de 1,20m para as ocupações em geral, 1,65m para ocupação H-2 e 2,20m para ocupação H-3. A largura mínima das rotas de fuga verticais (escadas e rampas) deve ser de 1,20m para as ocupações em geral e 1,65m para ocupação H-2 e H-3. Para ocupações do tipo F com lotação superior a 300 pessoas, ou as enquadradas como F6 e F11 com mais de 100 pessoas, devem ser previstas pelo menos duas saídas de emergência independentes (aquelas que estão afastadas por mais de 10m, ou aquelas que, por análise fundamentada do responsável técnico, possuem *layout* interno que torne as saídas independentes entre si). Também se admite saída única ou mais de uma saída que não independentes, desde que a largura total seja 1,5 vez a largura mínima necessária ao escoamento da população, atendidos os critérios de caminhamento. Em condições de abandono urgente, a distribuição das saídas não deve formar uma aglomeração unificada de pessoas, reduzindo-se assim o risco de bloqueios nas saídas e esmagamentos de pessoas. Nos acessos, a altura livre mínima admitida é de 2,10m.

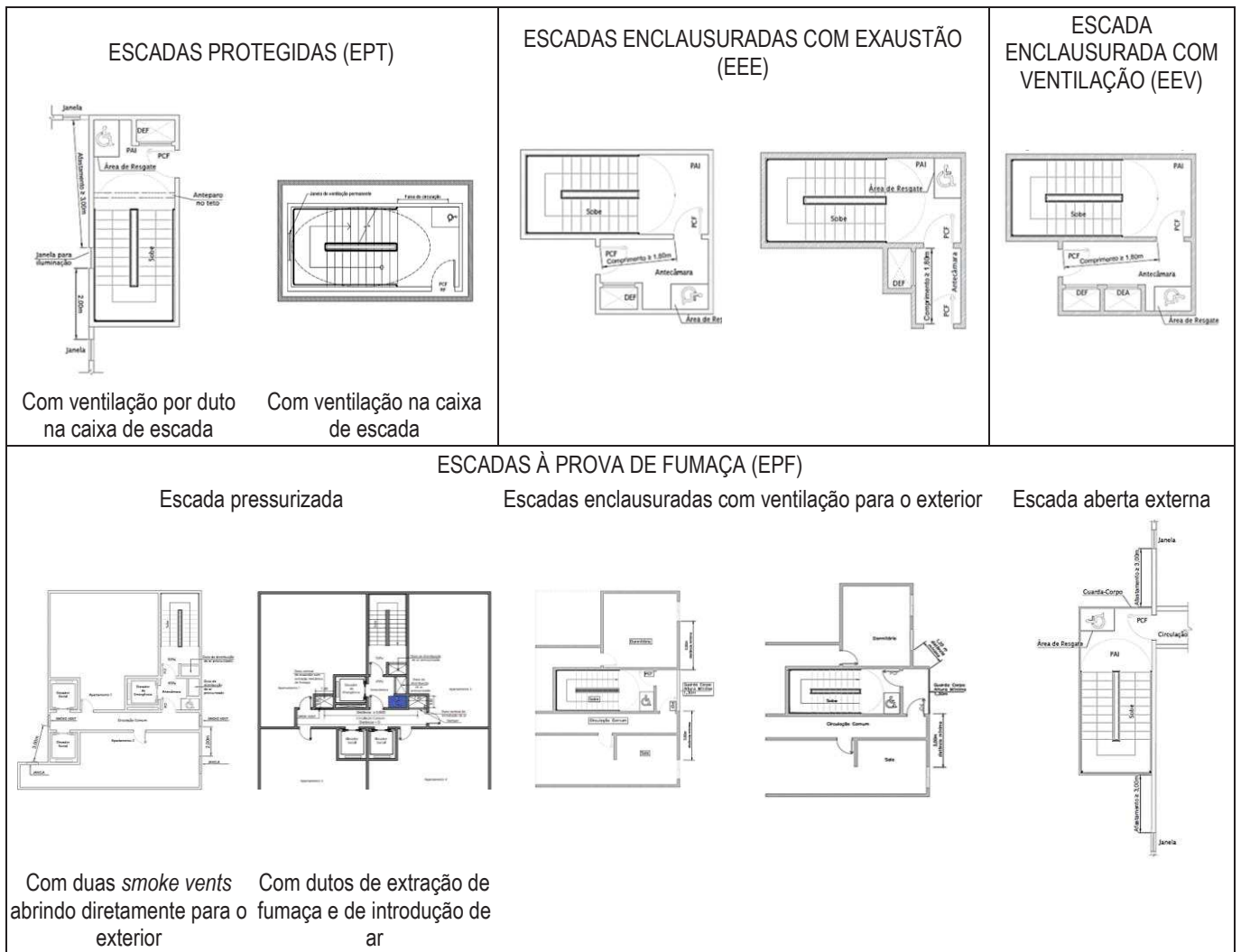
Em relação às larguras indicadas na IN 09, é interessante avaliar que a largura mínima de 1,20m atende a NBR9050 para deslocamento em linha reta de um pedestre e uma PCR, mas

não permite a passagem simultânea de duas PCR, que implicaria, no mínimo, largura de 1,50m, e que é estabelecida na NBR 9050 como medida para corredores de uso público. A dimensão de 1,20m também permite apenas a manobra, sem deslocamento, para rotação de 90° de PCR, enquanto que 1,50m permite a rotação de 360°. Em relação à manobra com deslocamento, a NBR indica 1,20m como o mínimo para deslocamento em curva de 90°, sendo necessário 1,50m x 1,90m para deslocamento de 180°.

As distâncias máximas a serem percorridas dentro da edificação para se atingir um local seguro ou de relativa segurança são estabelecidas no Anexo D da IN 09, com valores de 25m a 120m, conforme a associação ao tipo de ocupação, tipo de pavimento, número de saídas, presença/ausência de chuveiros automáticos e presença/ausência de detecção automática de incêndio. É possível ainda o acréscimo em função da altura média do teto ou forro em relação ao piso do ambiente e a redução quando o percurso da rota de saída não puder ser definido no projeto devido à indefinição do *layout* interno do ambiente. Escadas comuns e rampas internas abertas não são consideradas local seguro ou de relativa segurança e, nesses casos, o cômputo da distância percorrida deve ser realizado pela somatória dos trechos horizontais e verticais.

Os tipos de escada de emergência de uma edificação e sua quantidade dependem da ocupação, altura, lotação e distância máxima a ser percorrida da edificação, devendo atender o previsto no Anexo B da IN 09 CBMSC. As escadas são classificadas quanto ao tipo em: escada comum (ECM), escada protegida (EPT), escada enclausurada com exaustão (EEE), escada enclausurada com ventilação (EEV) e escada à prova de fumaça (EPF), que podem ser escada pressurizada, escada enclausurada com ventilação para o exterior e escada aberta externa. As escadas comuns não possuem antecâmara e nem proteção. Desta forma, não proveem área de resgate. O quadro 6 ilustra os modelos de escada indicados na IN 09.

Quadro 6 – Exemplo de escadas previstas na IN 09 CBMSC



Fonte: CBMSC (2021, p. 24, 25, 34, 35, 36, 37).

O anexo B da IN 09 do CBMSC, determina o tipo de escada exigido conforme a altura e ocupação da edificação. Analisando as ocupações do tipo A, B, C, D, E, F e H, são exigidas:

- Edificações com altura até 6m: EPT apenas para a ocupação H3, sendo para todas as demais permitido ECM, ou seja, sem área de resgate.
- Edificações com altura entre 6m e 12m: Maior rigor para a ocupação H3 com escada EEE. Escada EPT para ocupações tipo B, C3, E5, F (exceção F4), H2 e H6. Escada ECM para ocupações tipo A, C1 e C2, D, E (exceção de E5), F4, H1, H4 e H5.
- Edificações com altura entre 12m e 21m: Não é permitida ECM, o que implica áreas de resgate junto aos outros tipos de escada. Há maior rigor para a ocupação H3, com exigência de duas escadas EEV. A escada EEE é exigida para as ocupações tipo B, C2 e C3 (C3 são exigidas duas escadas), F (exceção F4 e F7), H2 (duas

escadas) e H6. É exigida escada EPT para ocupações tipo A, C1, D, E (exceção de E5, F4, H1, H4 e H5). Destaque para E5, que exige duas escadas EPT ou EEE.

Além da quantidade e tipo mínimo indicados no Anexo B da IN 09 do CBMSC, a quantidade de escadas depende do cálculo da população e da distância máxima a ser percorrida. Todas as escadas devem ter: corrimão e guarda-corpo em ambos os lados; indicação do número de todos os pavimentos; iluminação natural na escada, quando uma das paredes da escada der para o exterior (fachada) da edificação, observados os afastamentos necessários; acionamento automático da iluminação convencional e piso antiderrapante, conforme IN 18. Todos os tipos de escadas de emergência devem terminar obrigatoriamente no piso de descarga, não podendo haver comunicação direta do lanço de escada dos pavimentos superiores com o lanço de escada dos pavimentos do subsolo. Os degraus devem ter piso incombustível e antiderrapante, conforme a IN 18, e atender a fórmula de Blondel, que corresponde à prevista na NBR 9050. Deve ser prevista uma área de resgate, com espaço reservado para o posicionamento de pessoas com deficiência, dentro do corpo da escada de emergência ou dentro da antecâmara da escada.

Em relação às áreas de refúgio, a IN determina que elas sejam previstas para ocupações H3, H2, E5 e E6, conforme área do pavimento e altura do pavimento mais elevado em que haja internação ou quarto (H2 e H3) e sala de aula ou refeitório para alunos (E5 e E6). Nestas ocupações, se a área de pavimento for menor ou igual a 750m² e existirem chuveiros automáticos, as áreas de refúgio são dispensadas. Para as demais ocupações, a adoção de áreas de refúgio é opcional, sendo que elas podem servir para atendimento à distância máxima a ser percorrida para a edificação. A área de refúgio de cada pavimento deve ser de, no mínimo, 30% da área de cada pavimento. A existência de compartimentação de área no pavimento será aceita como área de refúgio, desde que tenha acesso direto às saídas de emergência. Ainda sobre o tema, é válido destacar que, na NBR 9050, em seus termos e definições, área de refúgio e área de resgate possuem uma mesma definição e, ao longo da norma, a sinalização e o dimensionamento determinados referem-se apenas ao que a IN 09 considera como área de resgate para PcD.

A respeito de rampas, a IN 09 considera obrigatório seu uso na rota de saída da edificação sempre que a altura a vencer for inferior a 48 cm, o que significa tratamento para desníveis pontuais e não para circulação vertical entre pavimentos. Relativamente a elevador de emergência, a IN 09 remete a obrigatoriedade a IN 1 – Parte 2, na qual é exigido elevador de emergência para ocupação H3 a partir de 21m; A3 acima de 30m; F3 a F11 acima de 40m; A2, grupo B, C, D, G, I, J, F1, F2, H1, H2, H4, H6, K2 e M3 a partir de 60m de altura; e grupo E a partir de 90m.

De forma complementar à IN 09 e conforme citado na própria normativa, devem ser consultadas e atendidas as instruções constantes da IN 11 – *Sistema de iluminação de emergência* (correlacionada à NBR 10898), da IN 13 – *Sinalização para abandono de local* (correlacionada à NBR 16820) e IN 18 – *Controle de materiais de revestimento e acabamento*. Além destas, convém relacionar com o projeto de rotas de fuga e processo de evacuação a IN 12 – *Sistema de alarme e detecção de incêndio* (correlacionada à NBR 17240), IN 28 – *Brigada de incêndio* (correlacionada à NBR 14276) e IN 31 – *Plano de emergência* (correlacionada à NBR 15219). Para o caso de edificações pré-existentes e recentes, é necessário consultar a IN 05 – *Edificações existentes*. E, para estabelecimentos de saúde, além das INs do CBMSC, há a NBR 16651:2019 – *Proteção contra incêndios em estabelecimentos assistenciais de saúde*.

3.3 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE EVACUAÇÃO

Alguns países aceitam a quantificação do desempenho de saídas de emergência como parte de uma solução de projeto de engenharia e fornecem orientação para apoiar os projetistas em sua tomada de decisão. A análise pode incluir cálculos manuais simples (o modelo hidráulico) ou basear-se em modelos mais complexos, obtidos mediante simulação em computador (modelagem de propagação de incêndio e movimento de fumaça, modelagem de evacuação e/ou modelagem de comportamento estrutural).

A aplicação e importância da simulação computacional têm crescido devido às suas possibilidades, principalmente com relação à prevenção, gestão e análise de situações de emergência, fatores fundamentais na proteção da vida humana. A simulação computacional de incêndio e abandono pode trazer resultados tanto para a fase de projeto, quanto para avaliação das normas ou edificações existentes, assim como para a investigação de incêndios. No entanto, alerta-se que, para aplicação correta das ferramentas e resultados mais próximos da realidade, é necessário conhecimento dos recursos e das limitações dos modelos existentes, bem como das normas de SCI e de comportamento do fogo (BRAGA, 2018).

A abordagem baseada em desempenho requer a quantificação de ASET e RSET para determinar o grau de segurança fornecido, sendo que ambos incluem uma série de estágios e processos que exigem uma variedade de dados de entrada (PURSER, 2013). Para apoiar esta abordagem de engenharia de SCI, a simulação pode quantificar o desempenho usando modelagem estocástica, através de *softwares* desenvolvidos para simular o desenvolvimento do incêndio e/ou o processo de evacuação e permitir a comparação do desempenho de diferentes projetos em determinados cenários (HUNT *et al.*, 2020).

O presente estudo concentra-se no tempo de deslocamento dos ocupantes, componente do RSET, para o qual é possível utilizar a abordagem de modelagem de saída para estimar o desempenho da evacuação. Equações de engenharia podem estimar o valor do tempo de deslocamento com cálculos básicos de vazão, e o avanço de ferramentas computacionais mais sofisticadas permite simular o movimento do agente individual. Independentemente da abordagem adotada, a representação adequada e precisa do comportamento humano em resposta ao fogo é limitada e necessita de um modelo conceitual abrangente de tomada de decisão e comportamento dos evacuados durante emergências de incêndio, a fim de melhor representar o comportamento humano dentro da análise de segurança (KULIGOWSKI *et al.*, 2017).

Em relação à variedade de modelos de simulação de abandono de edificações, frequentemente utilizados nos códigos baseados em desempenho para determinar o tempo e as áreas críticas durante o processo de abandono, Kuligowski, Peacock e Hoskins (2010) classificaram modelos matemáticos destacando a finalidade e método de modelagem de 26 modelos computacionais. Os autores categorizaram os modelos em três tipos: modelo comportamental, modelo de movimento e modelo comportamental parcial. O modelo comportamental considera ações desenvolvidas pelos ocupantes e pode incorporar tomadas de decisões devido a condições da edificação ou mesmo capacidade de análise de risco. O modelo de movimento simula o deslocamento do ocupante de um ponto no interior da edificação para uma saída ou área segura. E o modelo comportamental parcial permite simular comportamentos pouco complexos como o de ultrapassagem, distribuição de tempos de pré-abandono e características únicas dos ocupantes, mas não simula tomada de decisão ou ações comportamentais explicitamente.

Segundo Lovreglio, Ronchi e Kinsey (2020), existem mais de 70 modelos de evacuação de pedestres, sendo os três mais conhecidos Pathfinder, FDS+Evac e STEPS. O FDS+EVAC e o Pathfinder são modelos comportamentais parciais, enquanto o STEPS é um modelo comportamental. Além dos três principais, foram destacados os *softwares* Exodus, Simulex, MassMotion, Legion, VISSIM/Viswalk, EVACNET, EGRESS, Pedestrian Dynamics, SimWalk, FPETool, Evacuationz, EVACSIM.

Em *workshops* e simpósios sobre segurança em incêndios, o tema da modelagem de evacuação tem destaque e são examinados os aspectos: psicologia/fatores humanos; sociologia; matemática aplicada; transporte; dinâmica, simulação e biomecânica (RONCHI *et al.*, 2019). Há estudos contínuos para validação e aprimoramento dos programas de simulação de evacuação que comparam dados de exercícios de evacuação real ou treinamento de evacuação

com modelos de computador. Kuligowski *et al.* (2013) empregaram Simulex, Exit89 e buildingExodus para simular diferentes evacuações das torres do World Trade Center.

Cuesta *et al.* (2017) comparam dados coletados em observações ao vivo e vídeos de exercícios de evacuação de crianças em prédios escolares na Espanha com uma série posterior de simulações usando quatro modelos de computador (buildingExodus, MassMotion, Pathfinder e STEPS) e o modelo hidráulico da Society of Fire Protection Engineering (cálculos manuais da Society of Fire Protection Engineering). Nesse estudo, os autores coletaram informações básicas sobre os principais fatores considerados influenciadores no desempenho da evacuação: geometria da edificação, população envolvida, procedimentos empregados e organização dos exercícios realizados. Foram avaliados tempos de pré-evacuação, rotas empregadas, velocidades de deslocamento adotadas e horários de chegada.

Além de análise dos impactos construtivos, há estudos com simulações computacionais sobre a influência do *layout* dos ambientes no processo de evacuação, como os trabalhos de Zang, Mei e Lui (2021) e Nappi, Moser e Souza (2019) sobre salas de aula.

Outra aplicação de simuladores de evacuação é exemplificar e expor legislações prescritivas, como feito por Gissi, Ronchi e Purser (2017) para explicitar requisitos prescritivos de projeto de escadas no Código Italiano de Segurança contra Incêndio, que é considerado um código híbrido. Os autores utilizaram o *software* Pathfinder para avaliar e comparar os pressupostos do código Britânico (*British Standard 9999*) com especificações adequadas para o contexto italiano. Ronchi, Colonna e Berloco (2013) também utilizaram simulação computacional (FDS+Evac, STEPS, Simulex, Pathfinder) para revisar o projeto dos meios de saída de túneis dentro dos Códigos Italianos, analisando abordagens prescritivas e baseadas em desempenho. Os autores concluíram que os modelos de evacuação foram potencialmente eficazes no estudo da segurança em túneis rodoviários, embora haja necessidade de aprimoramento dos dados de comportamento humano para calibração da entrada do modelo.

No contexto brasileiro, entre os trabalhos com uso de simuladores de evacuação, destaca-se a pesquisa doutoral de Ono (2010), na qual foi analisado o impacto do método de dimensionamento das saídas de emergência sobre o projeto arquitetônico de edifícios altos. A autora comparou métodos manuais de dimensionamento de saída de emergência e simulação com os *softwares* buildingExodus e FDS+EVAC, constatando que os critérios para dimensionamento de rotas de saída vertical não podem ser os mesmos para toda faixa de edificações, sem diferença em estratégias de abandono.

Alves, Campos e Braga (2008), através de métodos probabilísticos e determinísticos, utilizaram a modelagem da dinâmica do incêndio (FDS) associada a modelo computacional de

evacuação de pessoas (SIMULEX) para avaliar a influência da fumaça e da temperatura na fuga de pessoas, assim como a eficiência dos preceitos normativos da NBR 9077. Pinto e Montenegro (2020) analisaram plantas de edificações associando o *software* Pathfinder para análise de tempo de fuga com a movimentação de pessoas durante a saída e o *software* DEPTHMAP para estudo da configuração do espaço, sua relação com o movimento do usuário e a colocação das saídas de emergência no edifício. Martins, Rodrigues e Braga (2019) utilizaram o *software* Pathfinder (modos SFPE e Steering) para analisar locais de reunião de público (clube social) e normas atinentes a saídas de emergência.

3.3.1 Simulação computacional de evacuação para pessoas com limitações funcionais

Muitos modelos de evacuação costumam representar o movimento de multidões com base em dados coletados nas décadas de 1950 a 1980. Porém, especialmente a partir da década de 1970, as características da população mudaram em várias partes do mundo, com aumento do percentual de idosos e obesos, que pode ocasionar redução da velocidade geral e das taxas de fluxo, gerando implicações para modelos de computador e projeto de construção (THOMPSON *et al.*, 2015).

Neste sentido, estudos mais recentes sobre simulação computacional de evacuação, passaram a considerar a inserção de pessoas com limitações funcionais e/ou diferentes faixas etárias. Esse é o caso do modelo BUMMPEE (Bottom-up Modeling of Mass Pedestrian flows — implications for the Effective Egress of individuals with disabilities⁷), desenvolvido por Christensen e Sasaki (2008), que estudaram espacialidade e desempenho relacionados ao tempo de evacuação para complexos de escritórios considerando sete populações distintas: usuários de cadeiras de rodas motorizadas, usuários de cadeiras de rodas não motorizadas, deficientes visuais, deficientes auditivos, deficientes de resistência, indivíduos sem deficiência familiarizados com o ambiente e indivíduos sem deficiência física ou sensorial mas menos familiarizados com o meio ambiente, como forma rudimentar para incluir indivíduos com deficiência mental leve. Koo, Kim e Kim (2014) também utilizaram o modelo BUMMPEE para simular efeitos de desorientação mental e fadiga física durante a evacuação de uma população heterógena com seis diferentes grupos de deficiência em um edifício de 24 andares.

⁷ Modelagem *bottom-up* de fluxos pedestres em massa – implicações para a saída eficaz de indivíduos com deficiência.

Manley e Kim (2012) desenvolveram o sistema Exitus, com base em uma versão anterior do BUMMPEE, para experimentos de desempenho de diferentes estratégias de evacuação, incluindo evacuações assistidas, utilização controlada de elevadores, uso de áreas de refúgio e proibição geral de elevadores. Os autores indicaram que deve ser considerada cuidadosamente a identificação precoce de indivíduos mais vulneráveis durante as emergências, enfatizando as pessoas que usam cadeiras de rodas e aquelas com menor resistência e que podem não ser claramente identificáveis, como idosos, pessoas com condições crônicas de saúde ou com doenças temporárias, como lesões leves. Também foi observado que o simples aumento do número de evacuados por si só não resultou em aglomerações e congestionamentos, mas maiores proporções de indivíduos com deficiência foram necessárias para reproduzir o fenômeno. Os autores destacam que este risco deve ser considerado em edificações que recebem público diversificado e podem oferecer eventos especiais, como conferências, nos quais o número de pessoas vulneráveis pode ser ampliado.

O efeito de negligenciar populações heterogêneas foi pesquisado por Sørensen e Dederichs (2014), que utilizaram o *software* STEPS para comparar desempenho em experimentos com simulações em evacuação de grupos compostos por adultos aptos (grupo de referência) e subpopulações com idosos, deficientes auditivos, visuais, de mobilidade e cognitivos. O estudo apontou que os tempos totais de saída foram semelhantes para a simulação e o experimento (tempos totais de saída duas vezes mais longos para os grupos mistos do que para o grupo saudável), mas o comportamento humano ocorrido no experimento não foi reproduzido nas simulações.

Pan, Zhang e Ma (2020) também realizaram comparação entre experimento e simulação, utilizando o *software* Pathfinder e enfocando PCR em gargalos em forma de funil, com faixa de ângulo de 0° a 90°. Os resultados das simulações, em comparação com os resultados experimentais anteriores, mostraram velocidades médias de PCR menores e tempo de evacuação maior. Também se observou que a eficiência do tráfego e congestionamento do ângulo 0° e 45°, sob um grande número de cadeiras de rodas, foi diferente na simulação, sendo que, na simulação, a maior eficiência e o menor congestionamento foram encontrados no ângulo de 45°. As simulações também indicaram que as velocidades médias dos pedestres diminuem rapidamente e entram no estágio estacionário à medida que as sequências de chegada se tornam maiores. Observou-se ainda que a eficiência do trânsito e o congestionamento da multidão pioram com o aumento de usuários de cadeiras de rodas.

Um trabalho importante a ser considerado no estudo de simulação de evacuação assistida é o de Hunt *et al.* (2020), que simula, com o modelo buildingEXODUS, quatro

dispositivos de movimento usados em evacuação hospitalar, mediante os quais as pessoas com mobilidade reduzida podem ser assistidas durante a descida de escadas. Os autores apontam os desafios de preparar e transportar pacientes e a inviabilidade de simulações reais de evacuação. Apresentam a teoria de modelagem empregada para aprimoramento do modelo de evacuação buildingEXODUS para representar objetos em movimento e interações equipe-paciente e equipamentos para a evacuação assistida. É explicitada a especificação de dispositivos de evacuação, operados por agentes, conforme os dispositivos de movimento, em função dos parâmetros identificados nos dados experimentais, e são apresentados algoritmos que calculam o movimento dos dispositivos ao longo dos corredores, portas e escadas. Segundo os autores, o exame do desempenho da nova funcionalidade do modelo apresentou desempenho dentro da margem de erro de 6% da expectativa e permitiu obter informações antes da implementação de um novo procedimento, um novo projeto de construção ou o uso de novos dispositivos.

Tinaburri (2022) desenvolveu estudo sobre ambiente hospitalar, considerando equipe de assistentes treinada, utilizando o *software* Pathfinder. Foram simulados ocupantes com autonomia, ocupantes com limitação funcional, ocupantes que necessitam de auxílio e ocupantes que prestam assistência, tratando-se apenas a rota de fuga horizontal. O autor enfoca uma codificação padrão dos perfis de ocupantes, tanto autônomos quanto aqueles que precisam de assistência e, com base na mobilidade e habilidades de localização, os ocupantes são classificados em cinco categorias, para as quais são especificados o veículo elétrico e a assistência de pessoal eventualmente necessária. A circulação de pessoas em grupos também foi considerada para estabelecer um vínculo entre os ocupantes, e foram definidas disciplinas de serviço em três componentes: habilidades e consistência da equipe, política de agendamento e dispositivo de mobilidade. As características dos ocupantes e a disciplina de serviço (variáveis estocásticas) foram descritas por distribuições de probabilidade, incluindo perfis autônomos e assistidos. Para analisar a incerteza do parâmetro na análise de risco probabilística, foi empregado o método Monte Carlo, em conjunto com o Teorema do Limite Central. Para estimar o número de tentativas necessárias para uma precisão na modelagem, foi estabelecido um esquema preditor-corretor.

Ainda sobre simulação de evacuação em hospitais, Zou, Lu e Li (2020) avaliaram, por meio de modelo com base em autômatos celulares modificados, a evacuação de pacientes, pessoas ambulantes e pessoas em cadeiras de rodas, comparando estratégias de abandono da edificação. O estudo apontou que a implementação de prioridade de evacuação para pessoas com deficiência (ou a escolha em evitar espaços e caminhos utilizados por elas), em detrimento das pessoas sem deficiência, reduziu o tempo de evacuação.

Yao e Lu (2020, 2021) utilizaram o *software* Pathfinder para analisar o movimento de crianças em escada e no plano horizontal em jardim de infância na China. No âmbito brasileiro, destaca-se pesquisa semelhante de Valentim (2018), que coletou filmagens por meio de sistema fechado de televisão (CFTV) e utilizou sistema de identificação por radiofrequência (RFID) para analisar velocidades de caminamento de crianças em escadas, comparando os dados obtidos com simulação de abandono usando os *softwares* FDS+EVAC e Simulex.

Uma revisão de dados de engenharia para simulação computacional de pessoas com mobilidade reduzida, como complementação e atualização dos dados do *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (2016), foi apresentada por Georg *et al.* (2019), com tempos de pré-movimento e de velocidade de movimento conforme características de mobilidade. Os autores indicam a limitação de dados disponíveis e o desafio em considerar populações mistas no projeto de saídas de emergência.

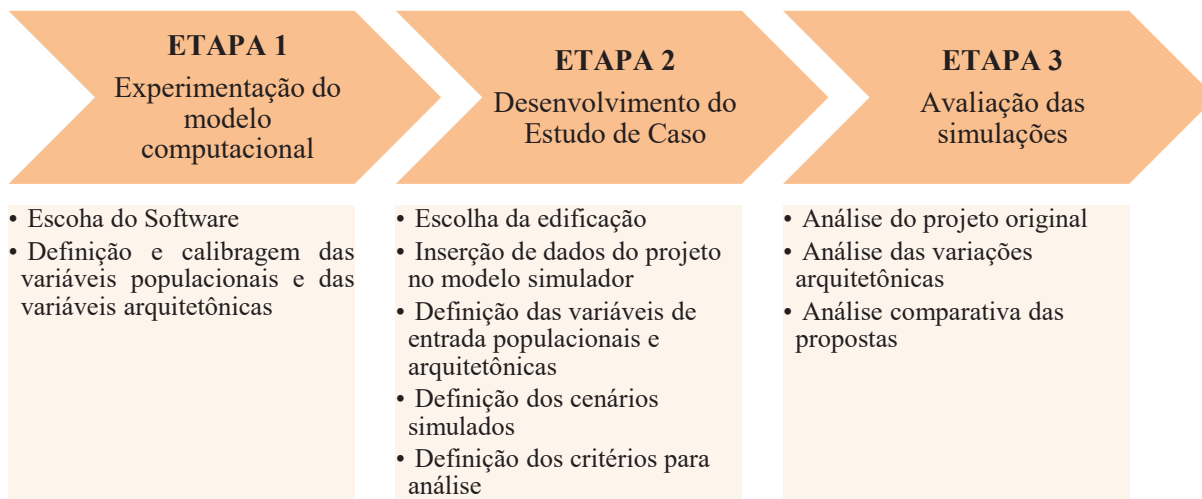
Diante do incremento gradual de pesquisas sobre o tema da simulação de evacuação de pessoas com limitações funcionais e a possibilidade de apresentação de estudo baseado em critérios de desempenho e simulação computadorizada de evacuação trazida pela atualização da IN 09 CBMSC, a presente pesquisa empregou modelo computacional para estudar a influência de intervenções arquitetônicas em um estudo de caso com projeto aprovado pelo CBMSC, conforme descrito no capítulo a seguir.

4 MÉTODO E ETAPAS DE PESQUISA

Para contextualização dos principais desafios relacionados à acessibilidade em áreas de circulação de rotas de fuga, foi realizada pesquisa exploratória do tipo experimental (GIL, 2010) empregando a modelagem matemática para simular, por meio de um estudo de caso, a dinâmica da presença de pessoas com limitações funcionais em situação de evacuação sob diferentes condições de movimento e de projeto para as saídas de emergência.

A pesquisa foi desenvolvida em três etapas. Para iniciar o trabalho foi necessária a experimentação do modelo computacional adequado para representação de pessoas com limitações funcionais durante a evacuação. Na sequência, para realização das simulações com estudo de caso, foram selecionados o projeto, as variáveis e os cenários a serem simulados. Por fim, conforme os critérios estabelecidos, as simulações foram avaliadas de forma comparativa. A Figura 2 descreve as atividades envolvidas em cada etapa da pesquisa.

Figura 2 – Descrição das etapas de desenvolvimento da pesquisa



Fonte: Elaborada pela autora.

A etapa 1 da pesquisa é exposta a seguir, no tópico 4.1, “Experimentação do modelo computacional”, em conjunto com seus resultados, para embasar a etapa 2, que é explanada no tópico 4.2, “Desenvolvimento do Estudo de Caso”. A avaliação das simulações propostas, que constitui a etapa 3, é apresentada no capítulo 5, “Resultados e discussão”.

4.1 EXPERIMENTAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL

Com base no método e nas etapas propostas, foi necessária a escolha de um *software* que permitisse a simulação de pessoas com limitações funcionais, inserindo como principais *inputs* variáveis populacionais de caracterização dos ocupantes e variáveis arquitetônicas do projeto de rota de fuga.

Para consolidação do *software* foi realizada calibragem das variáveis através de simulações com modelos geométricos fictícios, visando à seleção dos *inputs* a serem empregados no estudo de caso. Os tópicos a seguir abordam a seleção do software e o processo de calibragem das variáveis.

4.1.1 Escolha do *software* para simulações

Para realização das simulações computacionais de evacuação, foi adotada uma abordagem baseada em agente, com foco em regras comportamentais atribuídas aos ocupantes em função de suas características e objetivos. Neste sentido, a escolha foi pelo *software* Pathfinder, versão 2021.4.1201, desenvolvido pela Thunderhead Engineering (EUA), com uso gratuito disponível por licença acadêmica de um ano. Este programa apresenta interface de fácil utilização e disponibilidade da alternativa de simular o comportamento de fuga assistida e de decisões individuais para cada ocupante na escolha da saída a utilizar. Como resultado, o programa calcula tempo para desocupação total da edificação, distâncias máximas percorridas até as saídas, tempo de espera em filas e identifica áreas críticas durante o processo de abandono.

O Pathfinder permite dois modos de modelagem do movimento dos ocupantes: o SFPE e o Steering. No modo SFPE – Society of Fire Protection Engineers, é empregado um modelo de abandono baseado em fluxos, implementando os conceitos do *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (SFPE 2016). Esse modo pode fornecer respostas semelhantes a cálculos manuais. O mecanismo que controla o movimento da simulação é a fila de portas. As velocidades de caminhada são determinadas pela densidade de ocupantes dentro de cada sala, e o fluxo através das portas é controlado pela largura da porta. O modo Steering, ou de direção, fundamenta-se no conceito de comportamento de direção inversa. Esse modelo permite que comportamentos mais complexos sejam oriundos de um subproduto dos algoritmos de movimento, eliminando a necessidade de filas de portas explícitas e cálculos de densidade. No modo Steering, a prevenção de colisões e a interação dos ocupantes tem maior influência no

resultado final. Segundo a fabricante do Pathfinder, no manual do usuário, as respostas no modo Steering são mais semelhantes aos dados experimentais do que no modo SFPE, destacando-se que o modo Steering geralmente gera tempos de evacuação mais rápidos. Para esta pesquisa, foi escolhida a opção Steering, por permitir uma análise mais próxima ao comportamento humano.

Para caracterizar a pluralidade de ocupantes, o programa Pathfinder oferece opções de modelagem de perfil e comportamento. Através da edição de perfis, é possível definir características fixas entre grupos de ocupantes, como velocidade máxima, raio, avatar e cor. Neste trabalho, foram priorizados os parâmetros de tamanho (requisitos espaciais) e velocidade que implicam no tempo de evacuação a ser analisado para o desempenho de rotas de fuga. Em relação à forma, o programa permite as opções cilindro ou poligonal. A opção cilindro tem como base, para diâmetro do cilindro, a largura dos ombros. A opção poligonal permite modelar um veículo junto ao ocupante de forma a simular um modo alternativo de transporte, como uma cadeira de rodas ou uma maca usada para evacuação assistida, sendo que, para estes dois tipos de auxílio, o *software* disponibiliza um padrão inicial de *bed* (maca) e de *wheelchair* (cadeira de rodas), que podem ser editados ou substituídos. Outra alternativa de uso do formato poligonal é para vincular ocupante que recebe acompanhamento de outro ocupante, mediante uso de um veículo que tenha forma semelhante ao cilindro, para poder ter um outro ocupante auxiliar acoplado a ele (TINABURRI, 2022). Os ocupantes com formato poligonal vinculados a um veículo têm a opção de ativar ou desativar o item “requerer assistência para se mover”, que deve ser associada um comportamento. Em ambas as opções de formato, é possível indicar, de forma opcional, um fator de redução para o ocupante utilizar em áreas congestionadas.

Através da edição de comportamentos, relacionado a autonomia, limitações e fuga assistida, o *software* Pathfinder permite definir uma sequência de ações que o ocupante realizará ao longo da simulação, como mover-se para um determinado ambiente ou saída, esperar determinado tempo ou auxílio, prestar auxílio e sair. Através do comportamento, é possível aplicar tempos de pré-movimento e preparação, assim como há a possibilidade de simular a escolha por determinada saída para cada ocupante ou grupo de ocupantes (Rota familiarizada ou Rota selecionada/priorizada previamente). Nas simulações iniciais, não foram considerados esses fatores, sendo indicado o comportamento *Goto Any Exit*, que significa ir para qualquer saída. O quadro 7 descreve as características do modelo de ocupante padrão do *software*.

Quadro 7 – *Inputs* do modelo de ocupante padrão do *software* Pathfinder

Variável		Input	Referência
Formato	Forma	Cilindro \varnothing 45,58 cm	Pheasant e Haslegrave (2005) ^{***}
	Diâmetro mínimo* (opcional)	33,00 cm ^{**}	
	Fator de redução (opcional)	0,7	
	Veículo	Sem veículo	
	Altura	1,8288 m	
Velocidade		1,19 m/s (constante)	SFPE Engineering Guide to Human Behavior in Fire (2019) Springer
Comportamento	Tempo de pré-movimento (atraso inicial)	0,0 segundos	
	Autonomia	não requer assistência para se mover	
	Ações	<i>Goto Any Exit</i> ^{****}	
	Nível de prioridade	0 (zero)	
	Restrição a componentes	nenhum	
OBS:			
* Esta opção pode ser habilitada para alterar o teste de colisão da geometria do ocupante para acomodar a geometria mais estreita, que dificulta a movimentação dos ocupantes em largura total (modelos com áreas de assentos e corredores estreitos). Neste caso, o ocupante reduzirá seu diâmetro para esse valor somente se a geometria o impedir de seguir seu caminho e usará o diâmetro mínimo para planejar seu caminho através do modelo (se houver lacunas estreitas, como atrás de uma cadeira ou prateleira, que resultem em um caminho mais curto, o ocupante tentará navegar por esses espaços).			
^{**} Refere-se à profundidade máxima de um corpo humano para o percentil 95 dos indivíduos medidos. Os testes de colisão ocupante-ocupante não são afetados por esse recurso.			
^{***} Refere-se à média das medições de homens e mulheres de nove países. Conforme o Manual de Validação e Verificação do Pathfinder, esse tamanho (e distância interpessoal) resulta em movimento que corresponde ao SFPE e aos diagramas fundamentais medidos experimentalmente.			
^{****} Ocupante se desloca de sua posição inicial para qualquer saída presente no modelo, pela rota mais rápida.			

Fonte: Elaborado pela autora.

4.1.2 Calibragem de variáveis para input

Visando definir os dados para *input* em estudo de caso com projeto aprovado pelo CBMSC, foram realizadas simulações preliminares empregando modelos geométricos fictícios para calibragem das variáveis de entrada populacionais e arquitetônicas. As variáveis populacionais foram testadas em relação a densidade e distintos tipos de ocupantes propostos para simulação, e as variações arquitetônicas foram expressas em diferentes modelos geométricos simulados.

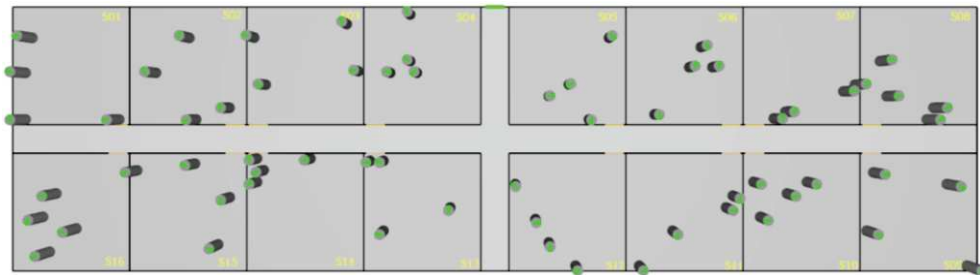
Um Modelo de Referência foi formulado para análise comparativa das variáveis populacionais e arquitetônicas. Este Modelo de Referência teve como formato geométrico uma planta retangular composta por 16 módulos de 25m² dispostos com circulação em cruz, e foram utilizados ocupantes com configuração padrão do *software*. Os parâmetros do Modelo de Referência estão descritos no quadro 8, e a planta do modelo com a disposição inicial dos ocupantes está representada na figura 3.

Quadro 8 – Parâmetros do Módulo de Referência

	Variável	Input	Referência	
Inputs populacionais	Densidade	0,16 pessoas/m ² (64 ocupantes)	Módulos C2 da IN09CBMSC: galeria comercial 1 pessoa/7m ² (disposição randômica)	
	Formato	Forma	Cilindro \varnothing 45,58 cm	Padrão Pathfinder
		Veículo	Sem veículo	Padrão Pathfinder
		Altura	1,8288 m	Padrão Pathfinder
		Fator de redução	0,7	Padrão Pathfinder
		Diâmetro mínimo	33,00 cm	Padrão Pathfinder
	Velocidade	1,19 m/s (constante)	Padrão Pathfinder	
	Comportamento	Tempo de pré-movimento (atraso inicial)	0,0 segundos	Padrão Pathfinder
		Autonomia	não requer assistência para se mover	Padrão Pathfinder
		Ações	<i>Goto Any Exit</i>	Padrão Pathfinder
Nível de prioridade		0 (zero)	Padrão Pathfinder	
Restrição a componentes		Nenhum	Padrão Pathfinder	
Inputs arquitetônicos	Formato geométrico da planta	Retangular		
	Compartimentação interna	16 módulos de 25m ² com 1 porta de 80cm		
	Layout interno	Ausente		
	Circulação horizontal	Formato	Em cruz	
		Largura	120cm	IN 09 CBMSC
	Saídas de emergência	Quantidade	1	
		Disposição	Centralizado entre salas 4 e 5	
		Largura	80 cm	IN 09 CBMSC
	Quantidade de pavimentos	1		
Circulação vertical	Não se aplica			
Área de resgate	Ausente			

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 3 – Planta do modelo de referência



Fonte: Elaborada pela autora.

O Modelo de Referência foi rodado pela primeira vez, em modo Steering, para avaliação dos tempos máximo, mínimo, média e desvio padrão, sendo destacado o tempo que o último ocupante levou para evacuar. Como forma complementar, para compreender a ampliação ou redução do tempo, foram analisadas as distâncias percorridas (máxima, mínima, média e desvio padrão), sendo destacada a distância máxima percorrida, que é um valor previsto em normativas prescritivas e que pode ser avaliado de forma comparativa com o tempo de

deslocamento para locais de congestionamento (gargalos e obstáculos). Os resultados estão indicados na tabela 1.

Tabela 1 – Resultados do Modelo de Referência para simulação inicial

Tempo de deslocamento (s)				Distância (m)				Congestionamento (s)	
Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
9,9 (Sala 13)	62,1 (Sala 08)	36,6	14,8	10,8 (Sala 13)	32,5 (Sala 16)	20,9	5,3	0,225 (Sala 13)	20,575 (Sala 15)

Fonte: Elaborada pela autora.

Observa-se que o mesmo ocupante, localizado inicialmente na sala 13, obteve os menores valores de tempo, distância e congestionamento. No entanto, os valores máximos foram obtidos por ocupantes distintos: o ocupante que demandou maior tempo iniciou na sala 08, o ocupante com maior distância percorrida iniciou na sala 16, e o ocupante com maior tempo de congestionamento iniciou na sala 15.

Considerando que os resultados de tempo e distância nem sempre são diretamente proporcionais e podem estar relacionados à posição inicial do ocupante, foram rodadas mais 14 simulações do Modelo de Referência, com alterações no posicionamento inicial de ocupantes: quatro com variação da posição mantendo-se na mesma sala da primeira simulação; cinco com modificação da posição entre diferentes salas; e cinco com alteração da posição em diferentes salas e considerando o uso da área de circulação. Os resultados obtidos estão indicados em tabela no Apêndice A e apontam que a inserção de ocupantes com posição inicial na área de circulação reduziu significativamente o tempo, distância e congestionamento mínimos durante a evacuação, pois o ocupante com maior facilidade de fuga iniciou a evacuação a partir da área de circulação, tendo a seu favor a proximidade com a porta de saída, que reduz o congestionamento, e a ausência do congestionamento para sair de uma sala (afunilamento). Em relação a tempo e distância máximos, a diferença foi menos significativa, visto que os ocupantes com maior tempo e maior distância para evacuarem estiveram posicionados principalmente nas salas localizadas nos extremos da planta, mesmo que não tenham sido os com maiores tempo de congestionamento.

Buscando ajustar um nível de dispersão aceitável para os resultados em relação à variação da posição inicial dos ocupantes e assim poder analisar comparativamente as variações populacionais e arquitetônicas, foi utilizado o recurso de simulação de Monte Carlo, ofertado pelo *software*, para automatizar várias simulações em que as posições iniciais e as propriedades dos ocupantes são aleatórias. Com uso desta ferramenta, o Pathfinder inclui *scripts* para

simplificar a simulação de Monte Carlo executando as funções *Randomize* e *Randomize Occupants' Positions* e gravando um novo arquivo de entrada Pathfinder com os dados aleatórios, o qual é repetido conforme o número especificado de vezes que for solicitado. Para abordar a incerteza do parâmetro do posicionamento inicial dos ocupantes na calibragem das variáveis populacionais e arquitetônicas, considerando o caráter experimental desta pesquisa, foi inicialmente estimado o valor de 10 repetições, apontado como um mínimo sugerido por Grandison (2020). Para análise da homogeneidade e representatividade dos dados da simulação Monte Carlo, foi avaliado o Coeficiente de Variação (CV), sendo considerados aceitáveis valores de CV até 10%. Desta forma, o Modelo de Referência foi rodado novamente com a randomização Monte Carlo de 10 repetições e obteve os resultados indicados na tabela 2, referentes ao tempo máximo de deslocamento e à distância máxima percorrida, para servirem de base comparativa para a análise das variáveis arquitetônicas e populacionais.

Tabela 2 – Resultado do Modelo de Referência após randomização Monte Carlo

Tempo máximo de deslocamento (s)				Distância máxima percorrida (m)			
Intervalo	Média	Mediana	Coef. Variação	Intervalo	Média	Mediana	Coef. Variação
60,2 - 67,2	64,1	65	4%	32,8 - 34,2	33,5	33,45	1%

Fonte: Elaborada pela autora.

Os dados da tabela 2, com a análise do Modelo de Referência a respeito do impacto da variação no posicionamento inicial dos ocupantes, serviram para direcionar a análise das variáveis arquitetônicas e populacionais, enfatizando os valores máximos de tempo de deslocamento por serem os mais críticos em caso de emergência. Os valores de distância e congestionamento, assim como o posicionamento inicial, foram coletados de forma complementar e avaliados conforme a necessidade de maior detalhamento em cada variável. Para avaliação de cada variável de entrada, foi empregado o mesmo sistema de randomização Monte Carlo associado à análise do CV que foi aplicado ao Modelo de Referência (CVs acima de 10% foram considerados como alerta para maiores investigações a respeito da origem da discrepância dos valores). A seguir, são descritas as análises das variáveis, cujos dados complementares são apresentados em tabelas nos apêndices B e C.

4.1.2.1 Variáveis populacionais

Duas variáveis principais foram relacionadas aos ocupantes das edificações para análise: Densidade e Tipo de ocupante. O quadro 9 sintetiza as variáveis populacionais simuladas indicando os *inputs* considerados.

Quadro 9 – Variáveis populacionais para calibragem do modelo

Variável		Inputs	
Densidade		1pessoa/7m ² ; 1pessoa/5m ² ; 1pessoa/4m ² ; 1pessoa/3m ² ; 1pessoa/2m ² ; 1pessoa/1,5m ² ; 1pessoa/1m ² ; 2pessoas/m ² ; 3pessoas/m ²	
Tipo de ocupante	Com autonomia individual de mobilidade	Formato	Variação Ø 50cm a 80cm Poligonal octogonal com Ø semelhante ao padrão Poligonal 70x115cm
		Velocidade	Ocupante Lento (em marcha lenta)
		Formato e velocidade	Ocupante usando muletas; Ocupante usando bengala; Ocupante usando andador; Ocupante em cadeira de rodas manual; Ocupante em cadeira de rodas elétrica
	Acompanhado por amigos, colegas ou familiares	Formato	Ocupante auxiliado tanto para percepção de alarme, aviso ou evidência quanto para orientação em relação ao deslocamento
		Formato e velocidade	Ocupante Lento assistido (em marcha lenta acompanhado) Ocupante empurrado em cadeira de rodas
	Necessita ser transportados	Formato, velocidade, assistência e tempo de preparação	Ocupante carregado de forma manual; Ocupante transportado em cadeira de rodas; Ocupante transportado em cadeira de transporte; Ocupante transportado em cadeira de evacuação; Ocupante transportado em prancha / folha de resgate portátil; Ocupante transportado em maca de mão

Fonte: Elaborado pela autora.

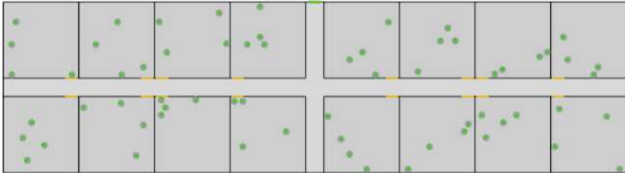
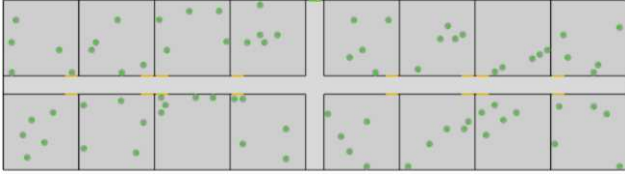
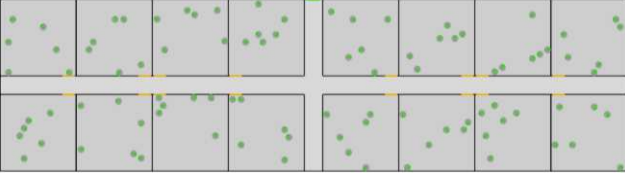
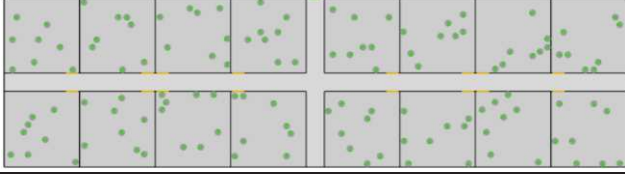
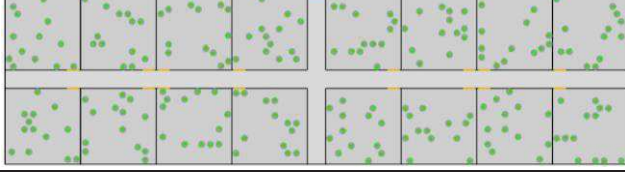
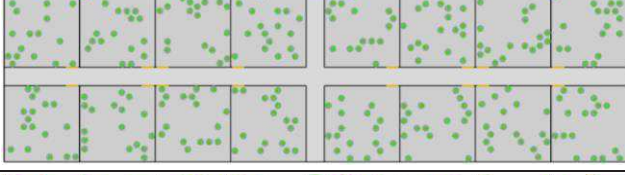
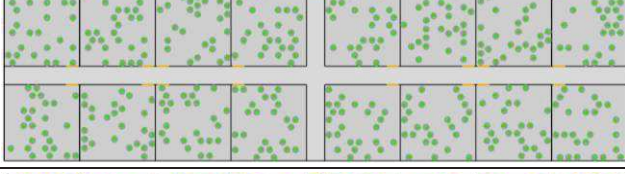

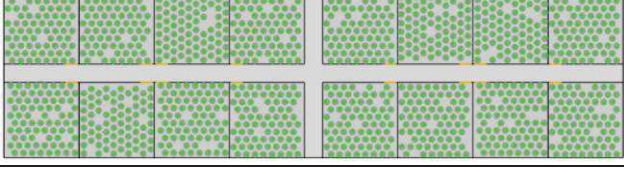
Cada variável populacional é descrita a seguir, junto ao resultado das simulações realizadas para calibragem. Dados complementares tabelados estão disponíveis no Apêndice B.

4.1.2.1.1 Densidade

A densidade, relacionada ao tipo de ocupação e ao limite de lotação da edificação, é um fator importante no dimensionamento de rotas de fuga. Quanto maior a densidade, menor a velocidade dos ocupantes, que tendem a se deslocar em um mesmo ritmo, reduzindo a influência das características individuais de deslocamento.

Para avaliar o impacto desta variável de forma isolada, a partir de uma mesma disposição de planta (Modelo de Referência) e de um mesmo tipo de ocupante (padrão do *software*), foram propostas variações com referência na IN 09 CBMSC, cujos valores têm como base o tipo de ocupação, caracterizada por um perfil de ocupante e uma configuração espacial interna associados ao uso esperado. O quadro 10 ilustra as densidades simuladas.

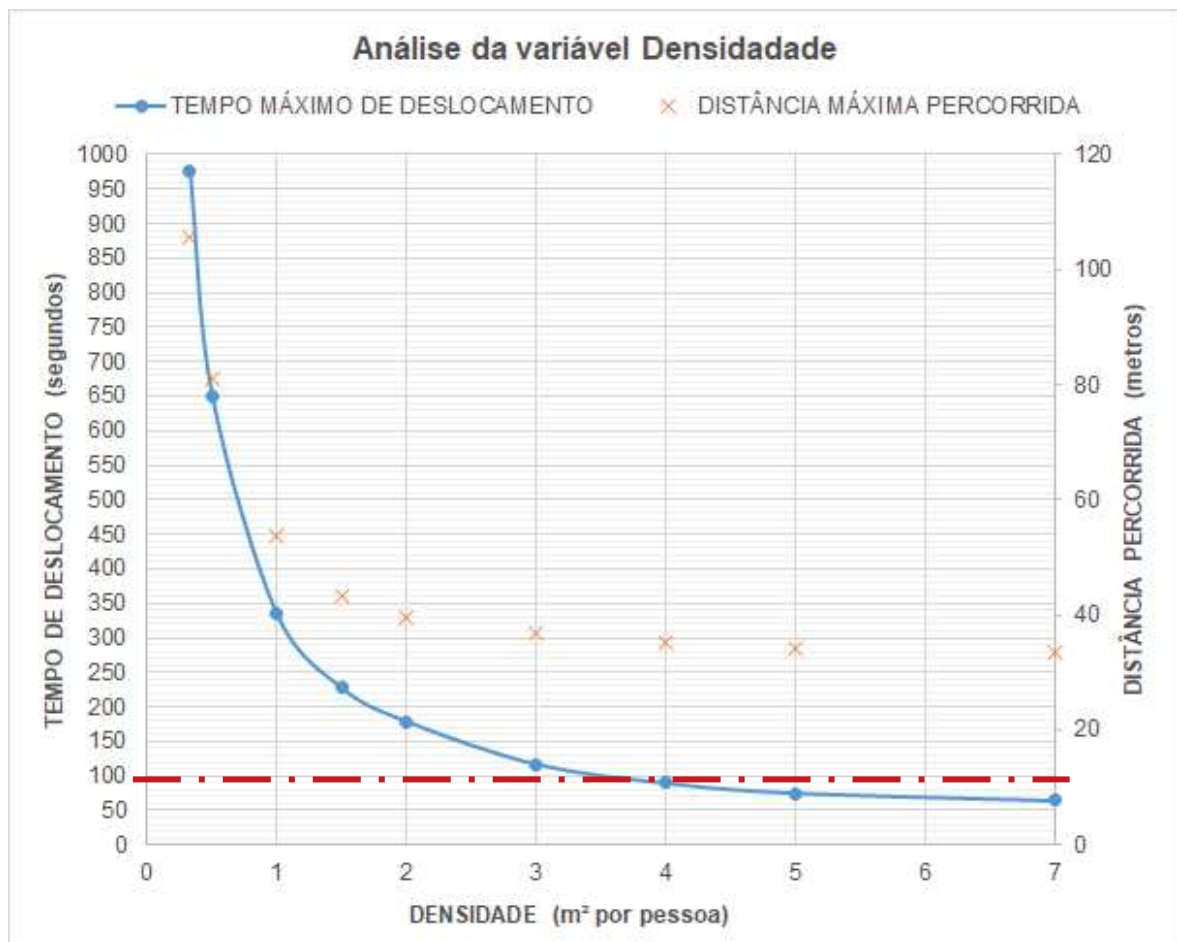
Quadro 10 – Densidades simuladas

	Densidade	Ocupação associada na IN 09 CBMSC
<p>1 pessoa/7 m² ou 0,16 pessoa/m² (4 pessoas em 25m²) 64 OCUPANTES</p>		<p>C-1 e C-2; D; H-1 e H-6; H-3; H-4 e H-5</p>
<p>1 pessoa/5 m² ou 0,20 pessoa/m² (5 pessoas em 25m²) 80 OCUPANTES</p>		<p>C-3</p>
<p>1 pessoa/4 m² ou 0,24 pessoa/m² (6 pessoas em 25m²) 96 OCUPANTES</p>		<p>A-3; B-1 e B-2; H-2</p>
<p>1 pessoa/ 3 m² ou 0,32 pessoa/m² (8 pessoas em 25m²) 128 OCUPANTES</p>		<p>F-1 e F-4</p>
<p>1 pessoa/ 2 m² ou 0,52 pessoa/m² (13 pessoas em 25m²) 208 OCUPANTES</p>		<p>E-2; E-3; E-4</p>
<p>1 pessoa/1,5 m² ou 0,68 pessoa/m² (17 pessoas em 25m²) 272 OCUPANTES</p>		<p>E-1; E-5 e E-6</p>
<p>1 pessoa/m² ou 1,00 m²/pessoa (25 pessoas em 25m²) 400 OCUPANTES</p>		<p>F-2, F-5 e F-8; F-9 e F-10</p>
<p>2 pessoas/m² ou 0,50 m²/pessoa (50 pessoas em 25m²) 800 OCUPANTES</p>		<p>F-3, F-6 e F-7</p>
<p>3 pessoas/m² ou 0,33 m²/pessoa (75 pessoas em 25m²) 1200 OCUPANTES</p>		<p>F-11</p>

Fonte: Elaborado pela autora.

A partir dos dados de entrada indicados, foram realizadas simulações para cada densidade proposta. Como resultado, indicado no Gráfico 1 e complementado pelos dados disponíveis na tabela A do Apêndice B, foi registrado o aumento no tempo de deslocamento conforme o aumento na densidade, com destaque para os tempos acima dos 150 segundos, a partir de densidades inferiores a $3\text{m}^2/\text{pessoa}$. Conforme a IN 09 CBMSC, as densidades a partir $3\text{m}^2/\text{pessoa}$ equivalem as ocupações do grupo E (Educativo e Cultura Física) e grupo F (Reunião de Público). Considerando que as ocupações destes dois grupos tendem a ocupar ambientes menos compartimentados, é válido considerar, como sugestão para pesquisas futuras, a simulação comparativa com modelos de planta menos compartimentados, assim como a possibilidade de ampliação das portas e saídas de emergência (quantidade e/ou largura) para favorecer o fluxo de passagem.

Gráfico 1 – Resultado para densidades no Modelo de Referência

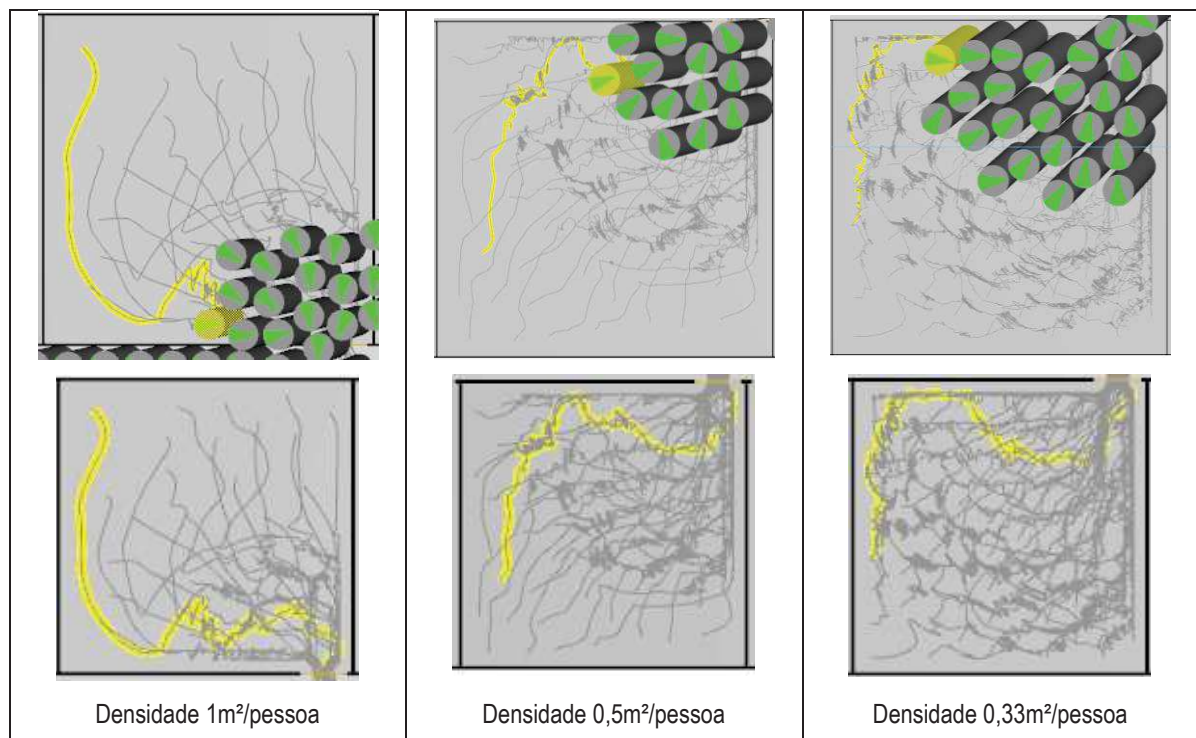


Fonte: Elaborado pela autora.

O gráfico 2 também indica uma ampliação na distância percorrida para os casos mais densos, o que não era esperado e aparenta ser um aspecto a ser desconsiderado, visto que, ao

analisar mais detalhadamente os trajetos de ocupantes com maior distância nas três maiores densidades, conforme indicado no quadro 11, foi constatado que o aumento da distância resultou de movimento com pouco deslocamento dos ocupantes, ainda no ambiente inicial, em busca de melhor posicionamento durante o congestionamento. Desta forma, para estes casos, este é um dado que não será considerado na análise da qualidade do projeto da rota de fuga.

Quadro 11 – Demonstração de trajeto intrincado com pouco deslocamento que resulta em maior distância percorrida



Fonte: Elaborado pela autora.

4.1.2.1.2 Tipo de Ocupante

A variável Tipo de Ocupante foi composta por variações no formato, velocidade e comportamento dos ocupantes buscando simular as limitações funcionais que influem no tempo de evacuação. Associando ferramentas do *software* Pathfinder a limitações funcionais durante a evacuação e visando inserir ocupantes variados, foram testados perfis e comportamentos semelhantes aos utilizados por Tinaburri (2022).

Os ocupantes foram categorizados conforme o impacto de diferentes limitações funcionais durante as fases de evacuação, avaliando-se a possibilidade de autonomia ou a necessidade de auxílio/acompanhamento durante a fuga, bem como as consequências no tempo total de evacuação e distancia máxima percorrida. Sendo a fase de deslocamento a mais

relacionada ao projeto arquitetônico, os ocupantes foram divididos em ocupantes com autonomia individual de mobilidade, ocupantes acompanhados por amigos, colegas ou familiares e ocupantes que necessitam ser transportados. Apesar de haver ciência das implicações de gênero e idade dos ocupantes, estes fatores não foram considerados nesta pesquisa, assim como a altura dos ocupantes também não foi alterada em relação ao padrão do *software*.

Cada categoria gerou tipos específicos de ocupantes (perfis em combinação com comportamentos e estratégias de evacuação), que foram salvos em biblioteca própria no Pathfinder. As variações simuladas foram comparadas com o Modelo de Referência. As categorias de ocupantes estabelecidos para este estudo são descritas a seguir.

A) Ocupantes com autonomia individual de mobilidade

Esta categoria contempla ocupantes do tipo ambulantes genéricos sem limitação funcional, ocupantes com limitação funcional auditiva, ocupantes com limitação funcional visual e ocupantes com limitação funcional de mobilidade (pessoas com mobilidade reduzida). Foram avaliados ocupantes que têm autonomia para se deslocar de forma individual, podendo se diferenciar por formato, velocidade e tempo de pré-movimento, mas tendo como constante a orientação de ação *Goto Any Exit*. Ou seja, o ocupante se desloca individualmente de sua posição inicial para qualquer saída presente no modelo pela rota mais rápida.

Para análise dos efeitos da diferença de formato e de velocidade dos ocupantes em relação ao modelo padrão disponível no *software* Pathfinder, foram realizadas as simulações indicadas no Quadro 12. Vale destacar que a variação de velocidade estudada nesta pesquisa foi referente aos perfis diferenciados, não tendo sido realizada avaliação da velocidade de ocupantes sem limitações, para os quais foi considerada uma velocidade constante pré-configurada do *software*.

Quadro 12 – Variações para ocupantes com autonomia individual de mobilidade

Variável	Caracterização	Ocupantes variados
Formato (F)	F: Cilindro com diâmetro ampliado para 50cm; 55cm; 60cm (referência da NBR 9050:2020 para pessoa em pé sem órtese); 65cm; 70cm; 75cm e 80cm	100%
	F: Poligonal octogonal semelhante ao diâmetro do modelo padrão	100%
	F: Poligonal 70x115cm (referência NBR 9050:2020) representando ocupante em cadeira de rodas com mesma velocidade dos demais	1% a 25%
Velocidade (V)	Ocupante Lento (em marcha lenta) por limitação de mobilidade ou limitação visual, sem uso de dispositivo auxiliar e com autonomia de deslocamento. V ⁽¹⁾ : distribuição normal μ 0,95m/s, σ 0,32m/s e intervalo de 0,24-1,68m/s	100%
		1% a 25%
Formato (F) e Velocidade (V) - ocupantes que utilizam dispositivos auxiliares	Ocupante usando muletas F: cilindro com diâmetro de 95cm (NBR9050) e redução para diâmetro mínimo de 75cm em geometria estreita. V ⁽¹⁾ : distribuição normal μ 0,94m/s; σ 0,30m/s e intervalo de 0,63-1,35m/s	1% a 25%
	Ocupante usando uma bengala F: cilindro com diâmetro de 75cm (NBR9050) V ⁽¹⁾ : distribuição normal μ 0,81m/s; σ 0,38m/s e intervalo de 0,26-1,601m/s	
	Ocupante usando andador F: cilindro com diâmetro de 85cm (NBR9050) e redução para diâmetro mínimo de 75cm em geometria estreita. V ⁽¹⁾ : distribuição normal μ 0,57m/s; σ 0,29m/s e intervalo 0,10-1,02m/s	
	Ocupante usando de cadeira de rodas manual F: poligonal 70x115cm (NBR9050) com veículo cadeira de rodas manual. V ⁽¹⁾ : distribuição normal μ 0,69m/s; σ 0,35 e intervalo 0,13-1,35m/s	
	Ocupante usando de cadeira de rodas elétrica Formato poligonal 70x115cm (NBR9050) com veículo cadeira de rodas elétrica. V ⁽¹⁾ : constante 0,89m/s	
LEGENDA: μ : média σ : desvio padrão NOTAS: ⁽¹⁾ Dados de velocidade baseados em Boyce, Shields e Silcock (1999).		

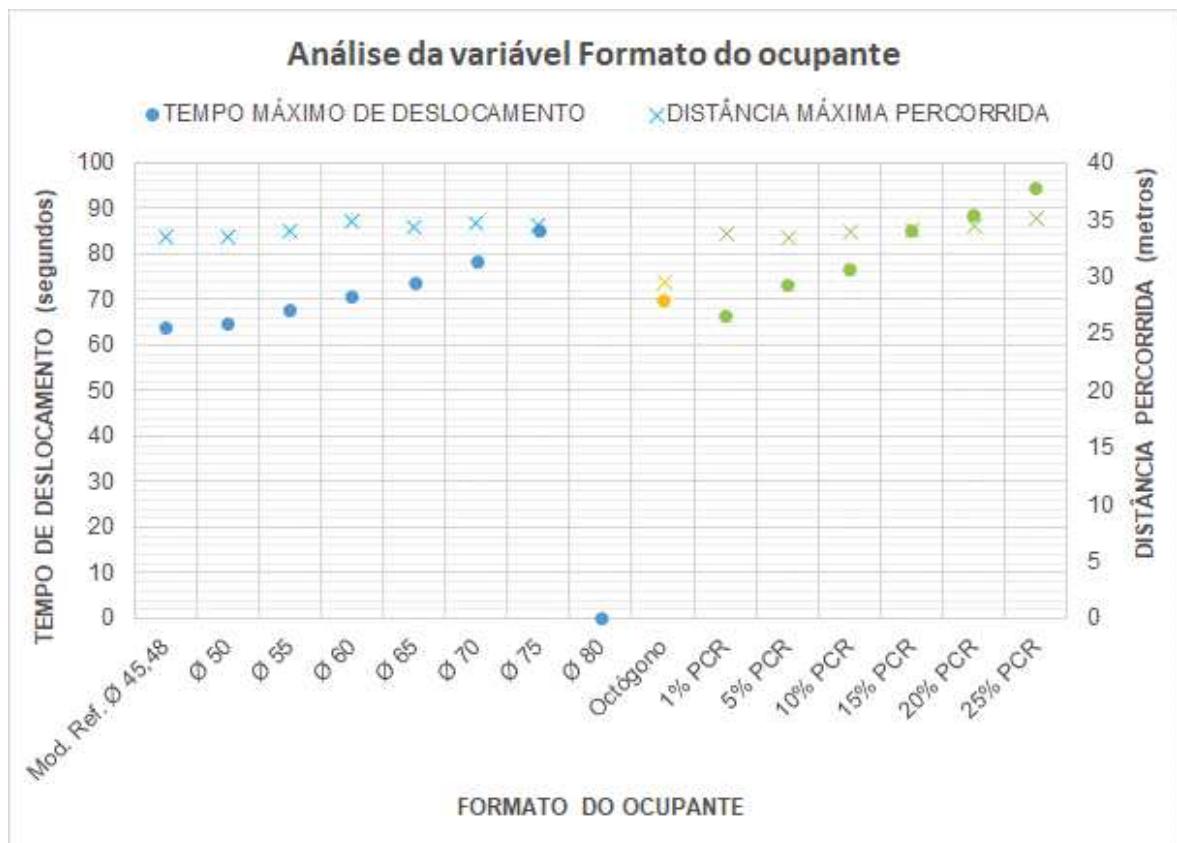
Fonte: Elaborado pela autora.

No caso de pessoas em cadeira de rodas, há restrição quanto ao uso de escada, aspecto que não foi avaliado neste tópico, por ser considerado um limitante da edificação e não da autonomia individual do ocupante. Nesta dissertação, este é um dos aspectos que deve ser aprimorado no projeto arquitetônico, através de implantação de outra forma de circulação vertical que permita a autonomia do ocupante. No item “Ocupantes que necessitam ser transportados”, é tratado o aspecto do deslocamento de pessoas que necessitam ser carregadas e no item 4.1.2.2.6, “Circulação Vertical”, é abordada questão de rota de fuga vertical. Os valores médios obtidos nas simulações com todos os perfis geraram os gráficos 2 e 3 e os dados disponíveis nas tabelas B e C do Apêndice B, com os valores mínimos e máximos, assim como o CV das randomizações.

O gráfico 2, referente à variação isolada do formato dos ocupantes, resultou dos valores médios obtidos nas simulações nas quais o CV foi inferior a 10%. Conforme os

resultados apresentados, é visível o aumento no tempo de deslocamento à medida em que há o aumento na área projetada para cada ocupante, seja pela ampliação do diâmetro ou pela inserção gradativa da representação de ocupantes em cadeira de rodas. No caso da opção com 80cm de diâmetro, o *software* não gerou resultados, pois considerou o ocupante travado na porta que possui a mesma largura. A opção do octógono apresentou maior tempo de evacuação, o que indica atenção para simulações nas quais for adotado este formato para instrumentalizar a fuga assistida, pois os resultados serão mais conservadores em relação ao tempo de deslocamento estimado. A variação da distância máxima percorrida foi pouco significativa, mantendo-se na faixa de 30 a 40m.

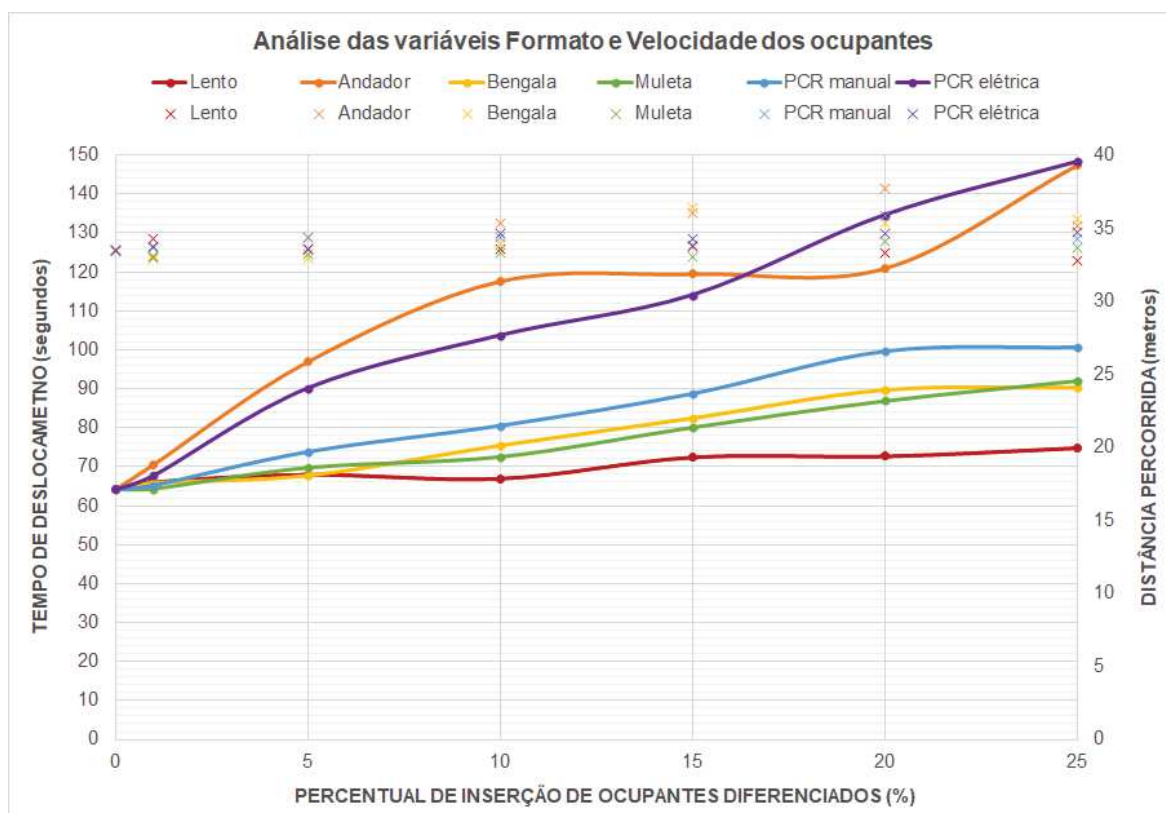
Gráfico 2 – Resultado para formato do ocupante



Fonte: Elaborado pela autora.

A variável Velocidade foi analisada de forma isolada para o perfil de ocupante Lento (em marcha lenta sem uso de dispositivos auxiliares). Para os demais perfis de ocupantes com mobilidade reduzida, o formato e a velocidade foram avaliados de forma conjunta. O gráfico 3 demonstra o resultado destas simulações, com a ressalva de que o CV para as simulações com os perfis Andador e Cadeira de rodas elétrica foram superiores a 10% e podem representar distorção na média, conforme pode ser visto na tabela C do apêndice B.

Gráfico 3 – Resultado para velocidade isolada e em conjunto com formato



Fonte: Elaborado pela autora.

O gráfico 3 indica que a inserção de apenas 1% de ocupantes diferenciados, independentemente do perfil, resultou em aumento pouco expressivo no tempo de deslocamento. A inserção progressiva de até 25% de ocupantes com perfil Lento apontou aumento de cerca de 10 segundos no tempo de evacuação, que ainda se manteve inferior a 80 segundos. A inserção gradativa de ocupantes com perfil de uso de Muleta ou Bengala teve resultados semelhantes, sendo que, no caso da inserção de 25% de ocupantes com estes perfis, o tempo de deslocamento foi ampliado até a faixa de 90 segundos, o que representa um aumento a ser considerado, uma vez que a referência inicial era de cerca de 64 segundos. A inserção de ocupante PCR manual, no limite de 25%, apresentou aumento do tempo de deslocamento para a faixa de 100 segundos, o que também representa um aumento a ser considerado, mesmo que ainda abaixo dos 150 segundos indicados na NBS 2006. Nos casos de ocupante com Andador ou com Cadeira de Rodas Elétrica, como ressaltado, o CV com valores de até 35% e o aumento do tempo de deslocamento foram considerados significativos, sendo que o tempo se aproximou da faixa limite dos 150 segundos. Esses dois perfis exigem maior atenção e detalhamento para serem empregados nas simulações, seja com revisão de todas as randomizações, para avaliar descarte de valores extremos, seja na ampliação do número de randomizações. Em relação à

distância máxima percorrida, para todos os seis perfis propostos, a variação foi pouco significativa, mantendo-se na faixa de 30 a 40m.

Em síntese, a partir das simulações realizadas, as variações propostas em relação a perfil de ocupantes com autonomia individual de mobilidade ampliaram o tempo de deslocamento, resultando em valores que podem ser considerados mais conservadores e que demandam maior atenção a SMSCI.

B) Ocupantes acompanhados por amigos, colegas ou familiares

Nesta categoria, foram considerados ocupantes acompanhados por uma pessoa que tem autonomia de fuga para auxiliar o ocupante que precise ser notificado ou orientado durante o trajeto de evacuação. Este tipo de ocupante foi simulado para os casos de ambulantes genéricos; ocupantes com limitação funcional auditiva, visual, cognitiva e de mobilidade (pessoas com mobilidade reduzida).

Para simulação destes casos, foi utilizado o recurso do *software* Pathfinder para fuga assistida, criando ocupantes que recebem auxílio e ocupantes que prestam auxílio. Para considerar a familiaridade entre os ocupantes, suas posições iniciais estão em um mesmo ambiente, indicando proximidade e evitando a ampliação do tempo de espera pela assistência.

O acompanhante foi considerado como ocupante padrão do *software*, diferenciando-se pelo perfil de prestar assistência e pela sequência de ações, na qual foi acrescida *Assist Occupant* antes de *Goto Any Exit*.

No que se refere ao ocupante que recebe acompanhamento, foi necessário alterar o formato para poligonal com veículo no qual podem ser acoplados ocupantes auxiliares e foi acrescida a ação *Wait for Assist* antes de *Goto Any Exit*. Foram considerados três tipos de ocupantes que necessitam auxílio em alguma das três fases de evacuação e que serão acompanhados durante o trajeto, conforme indicado no quadro 13.

Quadro 13 – Variações para ocupantes acompanhados por amigos, colegas ou familiares

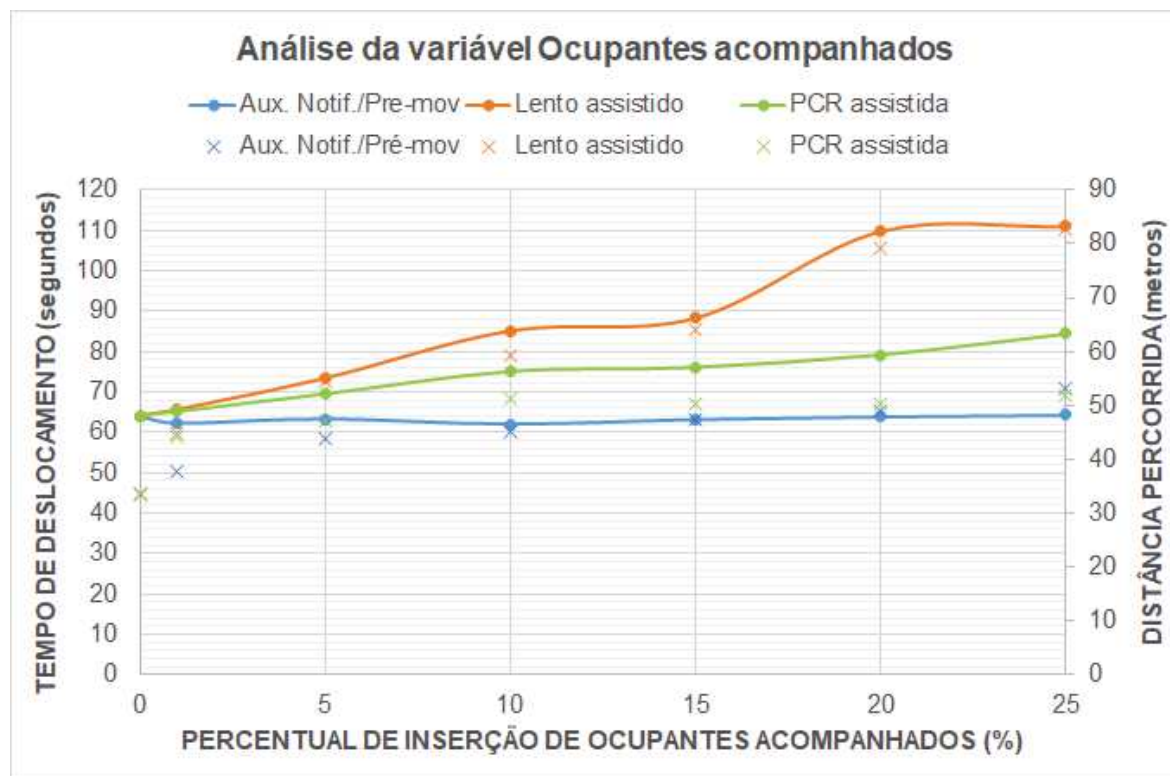
Variável	Caracterização	Ocupantes variados
Formato (F)	Ocupante ambulante que necessita auxílio tanto para percepção de alarme, aviso ou evidência quanto para orientação em relação ao deslocamento, seja por limitação funcional cognitiva ou auditiva F: poligonal octogonal com diâmetro semelhante ao do modelo padrão	1% a 25%
Formato (F) e Velocidade (V)	Ocupante Lento (com marcha lenta), seja por limitação funcional visual ou de mobilidade, sem dispositivo auxiliar F: poligonal octogonal com diâmetro semelhante ao do modelo padrão V ⁽¹⁾ : distribuição normal μ 0,78m/s; σ 0,34m/s e intervalo 0,21-1,40m/s	
	Ocupante em cadeira de rodas manual assistida/empurrada F: poligonal 70x115cm (NBR 9050:2020) V ⁽¹⁾ : distribuição normal μ 1,30m/s; σ 0,34m/s e intervalo 0,84-1,98m/s	
NOTAS: (¹) Dados de velocidade baseados em Boyce, Shields e Silcock (1999).		

Fonte: Elaborado pela autora.

Vale ressaltar que, nestes casos em que há o acompanhamento por pessoa próxima e conhecida do ocupante que necessita o auxílio, o tempo de pré-movimento não foi alterado, pois o deslocamento do prestador de auxílio até o ocupante a ser acompanhado gera um intervalo de tempo que pode ser considerado semelhante ao tempo de atraso inicial. Outro aspecto a ser considerado é que, nestes casos, o auxílio pode simular a ajuda na percepção de alarme, aviso ou evidência que possa ser prejudicada por alguma limitação funcional, visto que o acompanhante foi considerado sem limitações.

Foram simuladas inserções gradativas destes ocupantes a serem acompanhados. Em todas as simulações, foi inserido, proporcionalmente ao número de ocupantes que necessitam auxílio, um acompanhante sem uma vinculação específica além do posicionamento inicial no mesmo ambiente que a pessoa a ser auxiliada. O resultado dos valores médios obtidos na simulação com os três perfis gerou o gráfico 4 a seguir e os dados disponíveis na tabela D do apêndice B.

Gráfico 4 – Resultado para ocupantes acompanhados



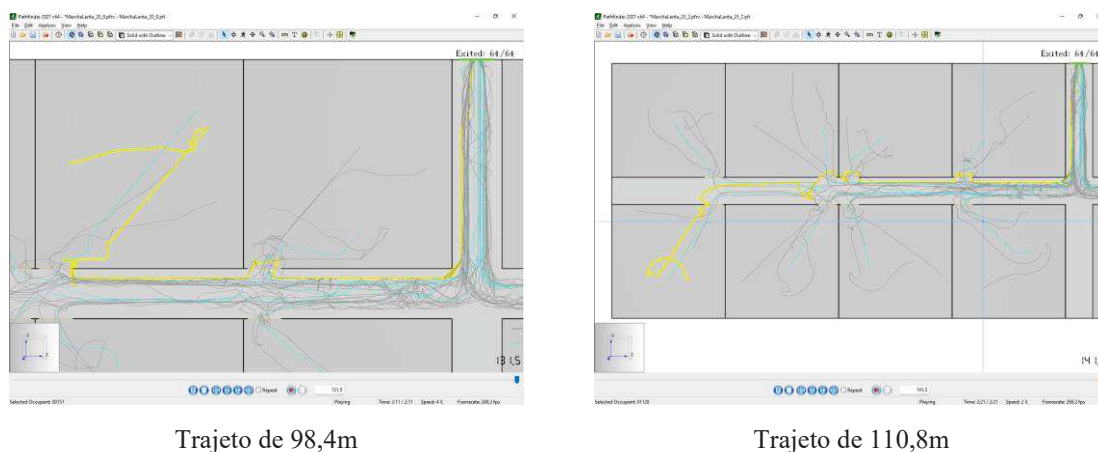
Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme o gráfico 4, a inserção de ocupantes a serem auxiliados apresentou resultados distintos conforme o perfil de ocupante inserido. No caso do ocupante que necessita auxílio de notificação ou pré-movimento, mas que não tem limitação de mobilidade e foi considerado com velocidade igual ao padrão, o tempo de deslocamento se manteve próximo do Modelo de Referência, tendo inclusive valores médios inferiores. Os ocupantes com cadeira de rodas assistida tiveram incremento gradual no tempo de deslocamento. No caso do perfil Lento Assistido, o gráfico indicou um incremento maior no tempo de deslocamento e menos linear, resultante de CV de até 21%, em função da amplitude dos valores de velocidades indicados para este perfil e da variação da randomização, que altera tanto a posição inicial dos ocupantes dentro de um mesmo ambiente quanto a velocidade do ocupante dentro dos limites de cada perfil. Foi observado, nas simulações com tempo de deslocamento mais elevado, que o ocupante com menor velocidade estava inicialmente posicionado nas salas mais distantes, o que acumula baixa velocidade com maior trajeto e assim resulta em maior tempo de deslocamento.

Em relação à distância máxima a ser percorrida, o gráfico 4 indicou incremento da distância, uma vez que o acompanhante deve ir ao encontro do acompanhado. No entanto, o aumento indicado no caso do perfil Lento Assistido foi maior do que o esperado, superando o dobro do Modelo de Referência. Este valor instigou a verificação do trajeto dos ocupantes com

maior distância percorrida para as situações de 20% e 25% deste perfil. A figura 4 apresenta os dois maiores trajetos para estes casos: 98,4m na simulação 8 com 20% de perfil Lento Assistido, e 110,8m na simulação 2 com 25% de perfil Lento Assistido.

Figura 4 – Demonstração de trajetos com maior distância percorrida para situações com 20% e 25% do perfil Lento Assistido



Fonte: Elaborada pela autora.

As imagens da figura 4 indicam que a distância indicada para os maiores trajetos aparenta estar superestimada, por considerar pequenas movimentações de ocupantes que não geram deslocamento, apenas buscam se ajustar ao fluxo. Nos casos de distância superestimada associados a CV acima de 10%, a informação da distância não deverá ser considerada na análise do projeto da rota de fuga.

A partir das simulações realizadas com estes três perfis de ocupantes acompanhados, considerou-se que seja válido simular a presença deste tipo de ocupante no estudo de caso da FCEE, pois pode representar limitações variadas, nas quais velocidade e área projetada são fatores a serem considerados no projeto da rota de fuga. O tempo de deslocamento e a distância máxima a ser percorrida tendem a aumentar, sendo interessante observar o tempo de evacuação comparativo entre os perfis, para verificar quais os últimos a abandonar a edificação, de forma a avaliar se poderiam ter recebido outro tipo de auxílio, como pode ser o caso de PCR em rota vertical, que será avaliado no estudo de caso.

C) Ocupantes que necessitam ser transportados

Além do acompanhamento no deslocamento, com objetivo de aprimorar o estudo da fuga assistida, foram simuladas evacuações com necessidade de transporte de ocupantes mediante auxílio por equipe treinada. Para simulação desses casos, foi utilizado o recurso fuga

assistida do *software* Pathfinder, no qual os ocupantes que recebem assistência foram simulados como poligonais com veículos e foram criados novos perfis de ocupantes que prestam auxílio como indivíduo ou membro integrante de equipe de emergência ou brigada (familiarizados e treinados).

Conforme o dispositivo de transporte, foram indicados o número e o posicionamento dos ocupantes com perfil de prestadores de auxílio. O perfil do ocupante que presta auxílio como membro de uma equipe treinada teve sua posição inicial aleatória em qualquer ambiente do andar estudado e diferencia-se do ocupante padrão em relação a três fatores principais: nível de prioridade, velocidade e ações. Com base em Tinaburri (2022), os valores empregados nas simulações foram: nível de prioridade 1; velocidade horizontal com distribuição normal, tendo média (μ) 1,35m/s, desvio padrão (σ) 0,25 e intervalo entre 0,65m/s e 2,05m/s. Para assistência no transporte de ocupantes a sequência de ações indicada foi: *Assist Occupant* → *Wait* (tempo de preparação conforme o tipo de transporte) → *Goto Any Exit*. Considerando que a quantidade de brigadistas influi no tempo de deslocamento, foram feitas duas séries de inserção de ocupantes que necessitam ser transportados, uma delas com apenas uma equipe e outra com duas equipes. Nos dois casos, a simulação foi apenas de deslocamento horizontal, sendo simulado o Modelo de Referência como uma edificação térrea.

Tendo como referência para modelação as pesquisas de Tinaburri *et al.* (2022) e Hunt *et al.* (2020) sobre modelação de fuga assistida em edificação hospitalar, foram propostas quatro formas para transporte de ocupantes: ocupante transportado por cadeira de transporte; ocupante transportado por cadeira de evacuação; ocupante transportado por prancha / folha de resgate portátil; ocupante transportado por maca de mão. Para os ocupantes transportados, a sequência de ações indicada foi: *Wait for Assist* → *Wait* (tempo de preparação conforme o tipo de transporte) → *Goto Any Exit*. O quadro 14 indica as variações de *inputs* consideradas para o perfil de cada forma de transporte.

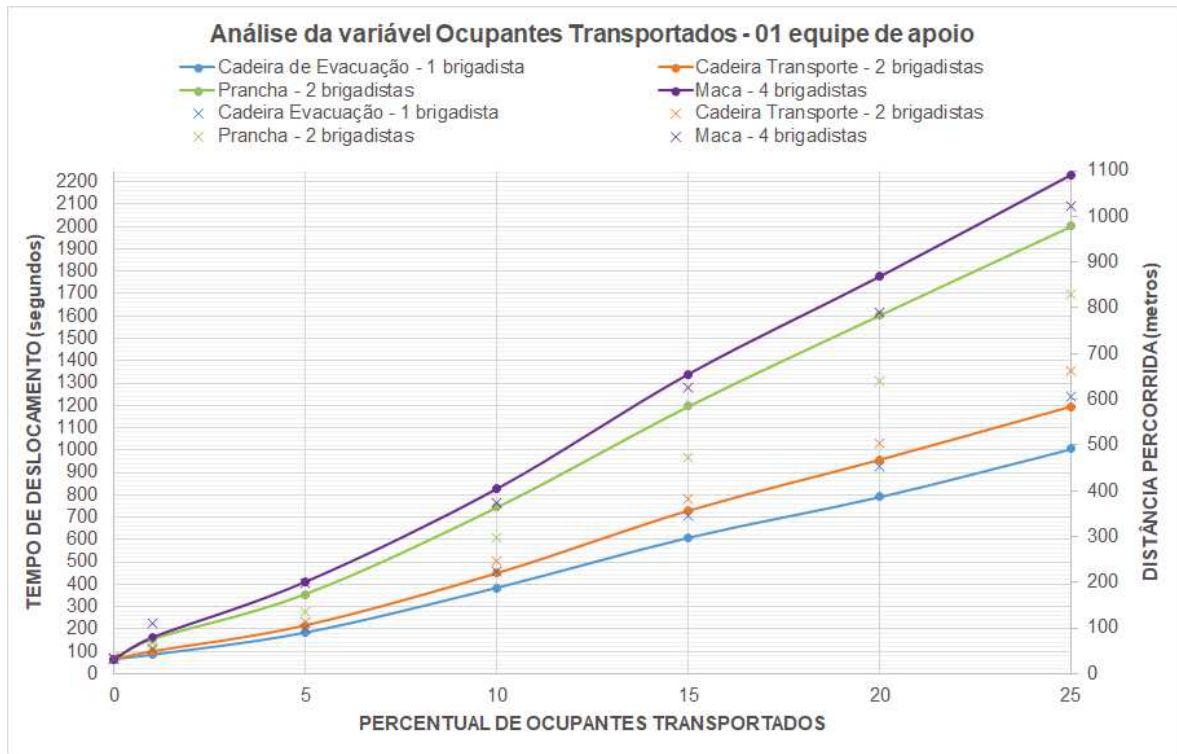
Quadro 14 – Variações para ocupantes que necessitam ser transportados

Variável	Caracterização				Ocupantes variados
Formato (F), Assistentes (A), Velocidade (V) e Tempo de preparação (TP)	Transportado por cadeira de transporte				1% a 25%
	F ⁽¹⁾ : Poligonal 48x61cm	A ⁽²⁾ : 2	V ⁽²⁾ : constante 1,50m/s	TP ⁽²⁾ : 41,5s	
	Transportado por cadeira de evacuação				
	F ⁽¹⁾ : Poligonal 52x77cm	A ⁽²⁾ : 1	V ⁽²⁾ : constante 1,46m/s	TP ⁽²⁾ : 32,7s	
	Transportado por prancha / folha de resgate portátil				
	F ⁽¹⁾ : Poligonal 75x200cm	A ⁽¹⁾ : 2	V ⁽³⁾ : uniforme 0,52-1,23m/s	TP ⁽²⁾ : 65,2s	
Transportado por maca de mão					
F ⁽¹⁾ : Poligonal 43x166m	A ⁽¹⁾ : 4	V ⁽³⁾ : uniforme 0,91-1,23m/s	TP ⁽²⁾ : 77,7s		
NOTAS:					
(1) Referência Hunt <i>et al.</i> (2020)					
(2) Referência Hunt, Galea e Lawrence (2015)					
(3) Referência Tinaburri (2022)					

Fonte: Elaborado pela autora.

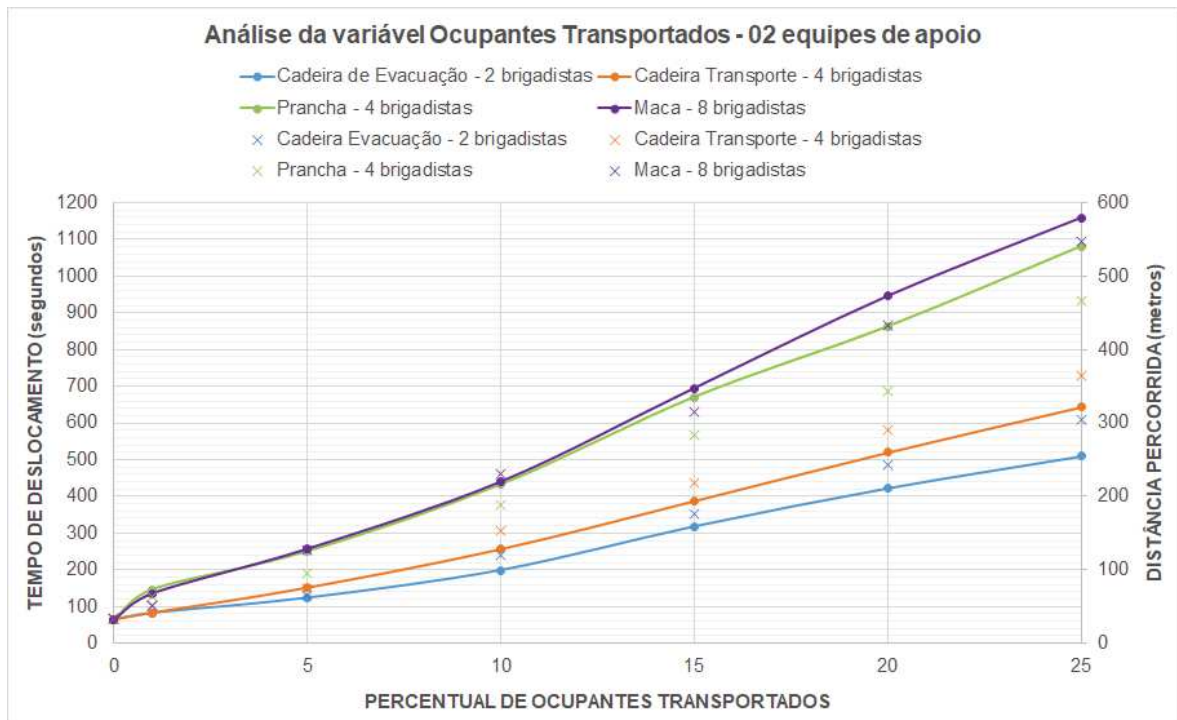
As simulações foram rodadas e apresentaram resultados com CV, em geral, inferior a 10%. Nos casos com apenas uma equipe, houve CV com valores mais elevados até próximo de 25% para dimensões relativas à distância máxima percorrida com uso de cadeira de transporte e maca em alguns percentuais de inserção. Nos casos com duas equipes, houve CV de 14% para o tempo de 1% de transporte com prancha e CVs mais elevados para algumas distâncias nos quais se destacam valores próximos 40% para uso de macas. Os dados resultantes das simulações estão disponíveis na tabela E do Apêndice B, e os gráficos 5 e 6 ilustram a síntese das simulações realizadas considerando apenas uma equipe de apoio e considerando duas equipes de apoio, respectivamente.

Gráfico 5 – Resultado para ocupantes transportados com uma equipe de apoio



Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 6 – Resultado para ocupantes transportados com duas equipes de apoio



Fonte: Elaborado pela autora.

Os gráficos 5 e 6 apresentam linhas de resultados semelhantes, mas com significativa diferença nos valores dos eixos verticais para o tempo de deslocamento e a distância percorrida. Observa-se que o limite de 150 segundos indicado na NBS 2006 é facilmente atingido no caso de apenas uma equipe de brigadistas: O valor é ultrapassado com a inserção de apenas 1% de ocupantes que necessitam maca ou prancha e com 5% de ocupantes que necessitam cadeira de evacuação ou cadeira de transporte. No caso com duas equipes, o aumento do número de brigadistas foi significativo na redução do tempo de deslocamento, incluindo a possibilidade de manter o valor abaixo de 150 segundos com a inserção de 1% de ocupantes que necessitam maca ou prancha.

Destaca-se que os valores de tempo de deslocamento destas duas simulações tiveram valores mais elevados que as simulações com alta densidade apresentadas no tópico 4.1.2.1.1, “Densidade”. Esse tempo elevado é resultado da combinação entre o tempo de preparo de cada equipamento (32,7s a 77,7s, conforme o equipamento adotado) e do deslocamento de cada brigadista, conforme o número de ocupantes com este perfil. Nas simulações apresentadas, o congestionamento não foi um fator de relevância, pois muitos ocupantes com perfil padrão evacuaram enquanto os ocupantes que precisavam de transporte esperavam pelo auxílio ou estavam em tempo de preparação do equipamento. Nestes casos, além do impacto do projeto da rota de fuga, é imprescindível gestão e treinamento de pessoal para auxílio durante a evacuação.

4.1.2.2 Variáveis arquitetônicas

Para avaliar o impacto da arquitetura no tempo total de deslocamento para evacuação de edificações, foram consideradas: distância máxima a percorrer; mudanças de orientação/direção durante o trajeto; formação de gargalos (portas, corredores, espaçamento entre mobiliário) e autonomia de uso (escadas podem ser barreiras para pessoas em cadeira de rodas).

Desta forma, para avaliação de componentes que compõem as rotas de fuga horizontais (portas, acesso e descarga), as variações propostas para análise do desempenho foram: formato geométrico da planta; compartimentação e *layout* interno de ambientes; circulação horizontal (formato, largura) e portas de saída de emergência (quantidade, disposição, largura). Para avaliação de rotas de fuga vertical, foram selecionados os componentes escadas e rampas, não sendo considerado o uso de elevador de emergência. As variáveis acrescidas para análise do desempenho de rotas de fuga verticais foram: Quantidade de pavimentos; Quantidade,

Disposição, Largura e Formato para Rampas e Escadas; Área de Resgate. O quadro 15 sintetiza as variáveis arquitetônicas simuladas para calibragem, indicando os *inputs* considerados.

Quadro 15 – Variáveis Arquitetônicas para calibragem do modelo

	Variável	Inputs	
Rotas horizontais	Formato geométrico da planta	Retangular; Quadrado; em "C"; em "L"; em "T"; em "U"	
	Compartimentação interna	módulos de 25m ² ; 50m ² ; 100m ² ; 200m ² ; módulo único	
	Layout interno	Salas de aula; Escritórios; Refeitórios; Auditórios	
	Circulação horizontal	Formato	Em cruz; em "T"; em "H"; em "U"; retangular ou quadrada
		Largura	120cm a 220cm com variações de 5cm em 5cm
	Portas de saída de emergência	Quantidade	1; 2; 3; 4
		Disposição	a; b; ab; ad; bc; acd; bcd; abcd
Largura		80cm a 200cm com variações de 5cm em 5cm	
Rotas verticais	Quantidade de pavimentos	01 a 10	
	Quantidade	1 a 3	
	Disposição	Paralela à descarga; Perpendicular à descarga	
	Formato	Rampa: 4 lances por andar em 3 tipos de formato Escada: 2 lances por andar; 3 lances por andar	
	Área de resgate	Área para 1 MR; 2 MR; 1 MR acompanhado	

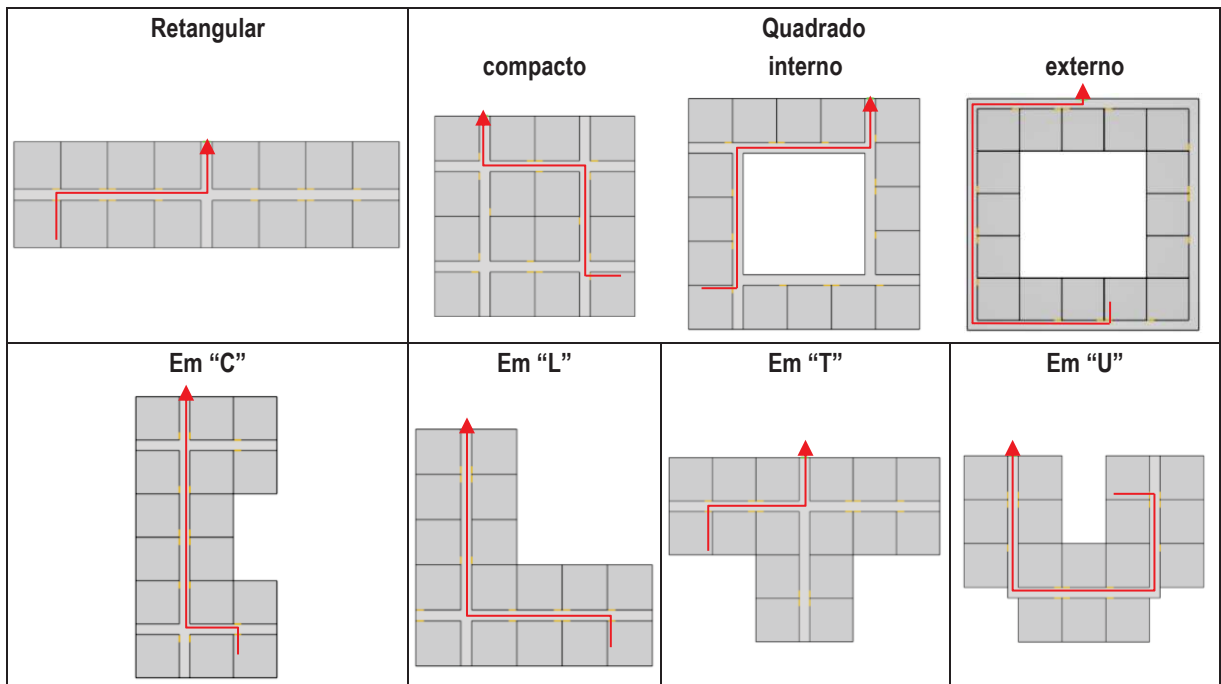
Fonte: Elaborado pela autora.

Para cada configuração proposta, foi empregado o perfil de ocupante padrão do *software* Pathfinder. Os resultados estão sintetizados a seguir, e dados complementares tabelados estão disponíveis no Apêndice C.

4.1.2.2.1 Formato geométrico da planta

Para avaliar o impacto do formato geométrico da planta da edificação no tempo de deslocamento total para evacuação em rota horizontal, foram analisadas a distância máxima a ser percorrida e a complexidade do trajeto (mudanças de sentido/direção). A partir da determinação de, no mínimo, dois eixos de circulação, foram elaboradas sete variações de esquema de planta com a mesma área e quantidade de salas do Modelo de Referência, conforme indicado no quadro 16.

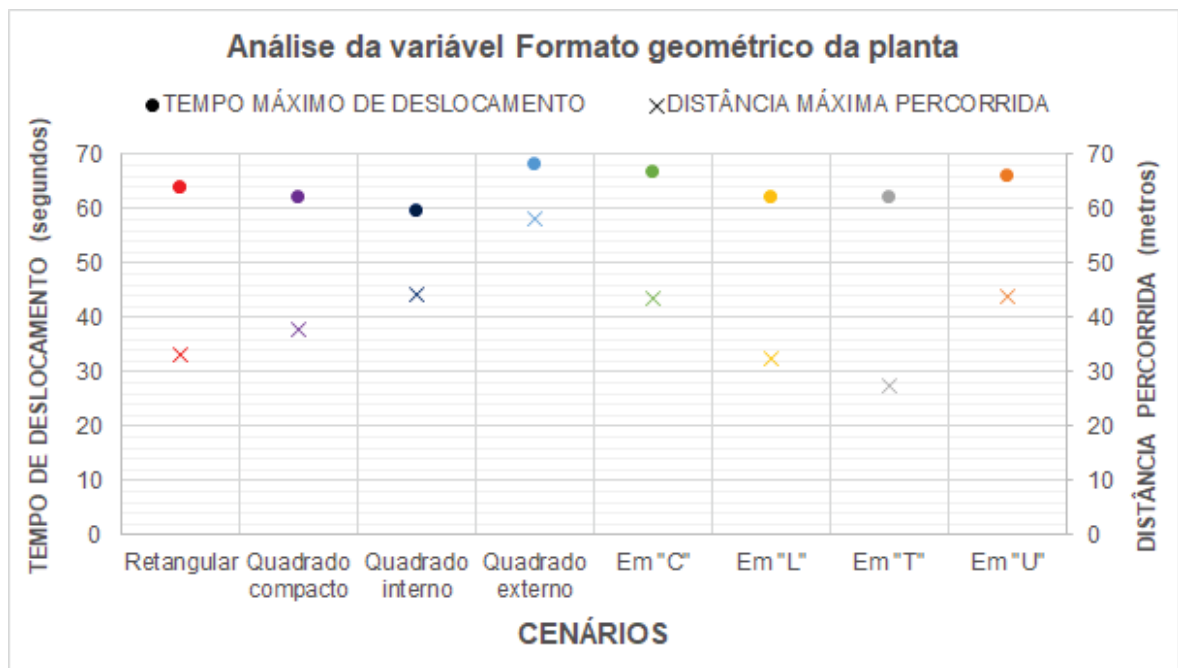
Quadro 16 – Variações para formato geométrico de planta



Fonte: Elaborado pela autora.

Os modelos foram rodados e apresentaram CV inferiores a 10%. O gráfico 7 representa a síntese da média dos resultados. Dados complementares constam na tabela G do Apêndice C.

Gráfico 7 – Resultado para Formato Geométrico



Fonte: Elaborado pela autora.


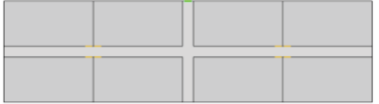









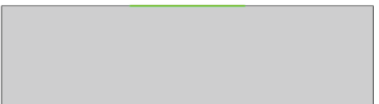
Conforme indicado no gráfico 7, a maioria dos tempos de deslocamento ficaram entre 60s e 70s, sendo observada maior variação dos resultados em relação à distância do que em relação ao tempo de deslocamento. Observa-se que o formato “Quadrado externo” apresentou o maior tempo de deslocamento e a maior distância máxima a ser percorrida. Mas essa relação também pode ser inversamente proporcional, como no caso do modelo “Quadrado interno”, no qual, apesar de a distância máxima percorrida ter aumentado em comparação ao modelo de referência (Retangular), o tempo de deslocamento foi reduzido. No caso do modelo em “T”, a redução da distância máxima é mais perceptível do que a redução do tempo de deslocamento. O aumento da distância máxima era esperado para praticamente todos os modelos, com exceção do modelo em “T”, visto que, nas plantas, foram gerados ambientes mais distantes das saídas de emergência. No entanto, o gráfico indicou que a distância para o modelo em “L” ficou próxima do Modelo de Referência. Este aspecto aponta para necessidade de análise do impacto de possíveis pontos críticos em determinados modelos em que a expectativa de associação diretamente proporcional entre menor distância e menor tempo de deslocamento não foi verificada, apontando para possível formação de congestionamentos ou gargalos na circulação. A complexidade do trajeto (mudanças de sentido/direção) não demonstrou impacto significativo.

É válido ressaltar que o formato da planta de uma edificação, além de uma escolha estética, pode estar condicionado aos limites do terreno, que determinam a implantação do edifício no interior do lote, e ao partido arquitetônico, que determina os eixos de espaços de circulação, assim como a distribuição dos espaços internos (ONO, 2019). Esta variável é mais difícil de ser alterada em edificações existentes, devendo merecer atenção no momento de concepção do projeto.

4.1.2.2.2 Compartimentação interna

Visando avaliar o impacto da compartimentação de ambientes para o tempo de deslocamento, por distribuir fluxos ou por resultar em maiores congestionamento, a modulação de ambientes de 25m² foi variada, unindo-se módulos que resultaram em ambientes de 50m², 100m², 200m² e um ambiente único. Conforme a modulação proposta, foram dispostas três composições de saídas, conforme representado no quadro 17.

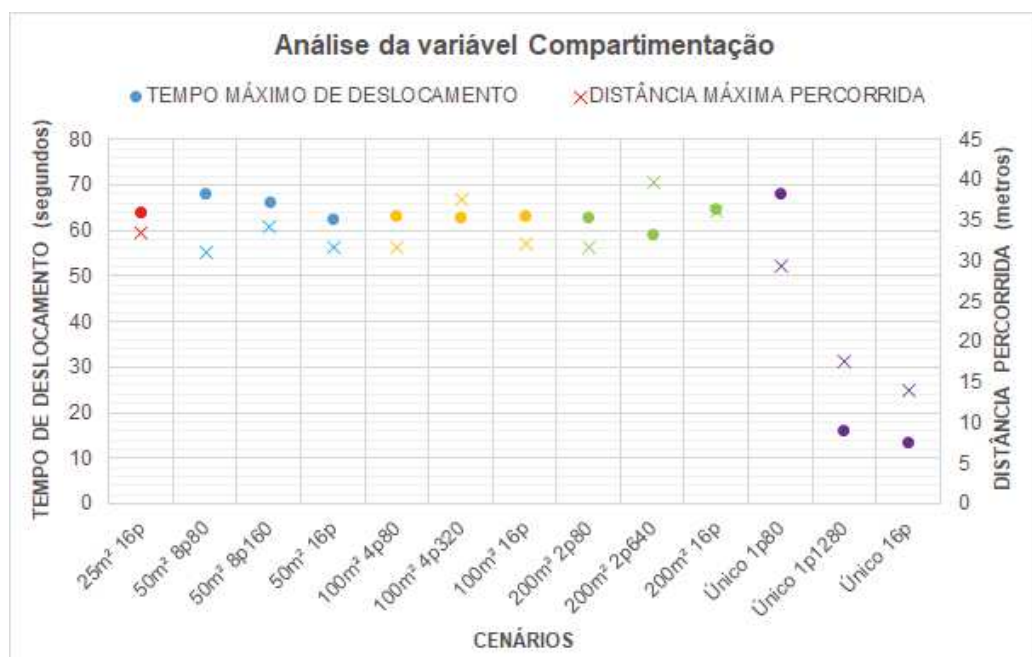
Quadro 17 – Variações para compartimentação interna de ambientes

Ambientes com as 16 portas do modelo de referência	Ambientes com saída única de 80cm	Ambientes com saída única de largura proporcional a soma dos ambientes do modelo padrão
 Módulos 50m ² 16p80cm	 Módulos 50m ² 8p80cm	 Módulos 50m ² 8p160cm
 Módulos 100m ² 16p80cm	 Módulos 100m ² 4p80cm	 Módulos 100m ² 4p320cm
 Módulos 200m ² 16p80cm	 Módulos 200m ² 2p80cm	 Módulos 200m ² 2p640cm
 Módulo Único 16p80cm	 Módulo Único 1p80cm	 Módulo Único 1p1280cm

Fonte: Elaborado pela autora.

O gráfico 8 representa a média dos resultados obtidos ao rodar cada variação e obter CV inferior a 10%. Dados complementares constam na tabela H do Apêndice C.

Gráfico 8 – Resultado para Compartimentação



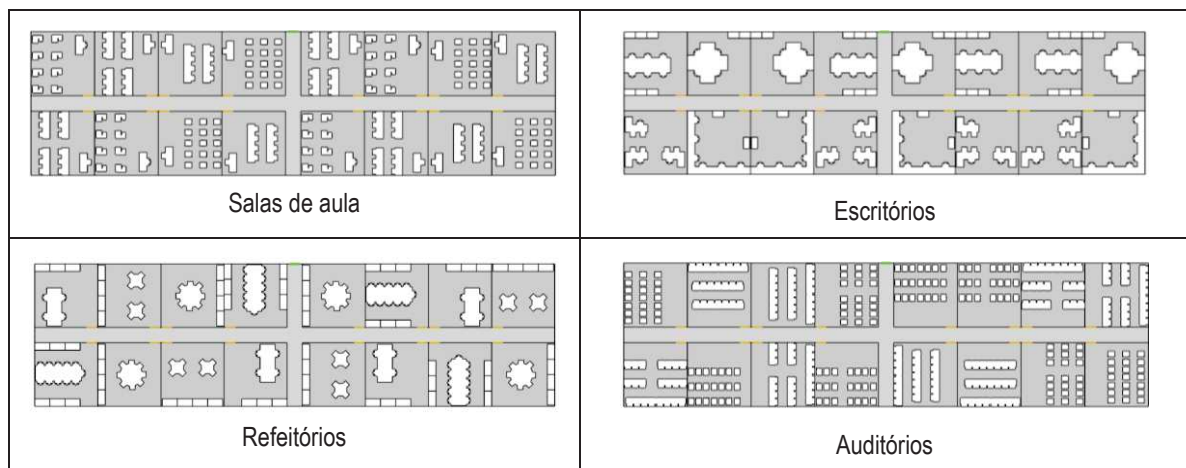
Fonte: Elaborado pela autora.

O gráfico 8 indica que a maioria dos tempos máximos de deslocamento foram entre 60s e 70s, com exceção de duas opções de módulo único (sem compartimentação) nos quais o tempo foi significativamente reduzido, visto que a largura para a saída final foi ampliada. O resultado aponta que a compartimentação e as portas de saída de cada ambiente têm pouca influência para o tempo de deslocamento, sendo a largura da porta de descarga (saída final para o exterior) a que influi efetivamente no tempo de deslocamento. As variações de distância máxima percorrida, em geral, se mantiveram entre 30 e 40m, sendo que, nos modelos 100m² 4p320 e 200m² 2p640, houve aumento da distância percorrida e redução do tempo de deslocamento.

4.1.2.2.3 *Layout* interno de ambientes

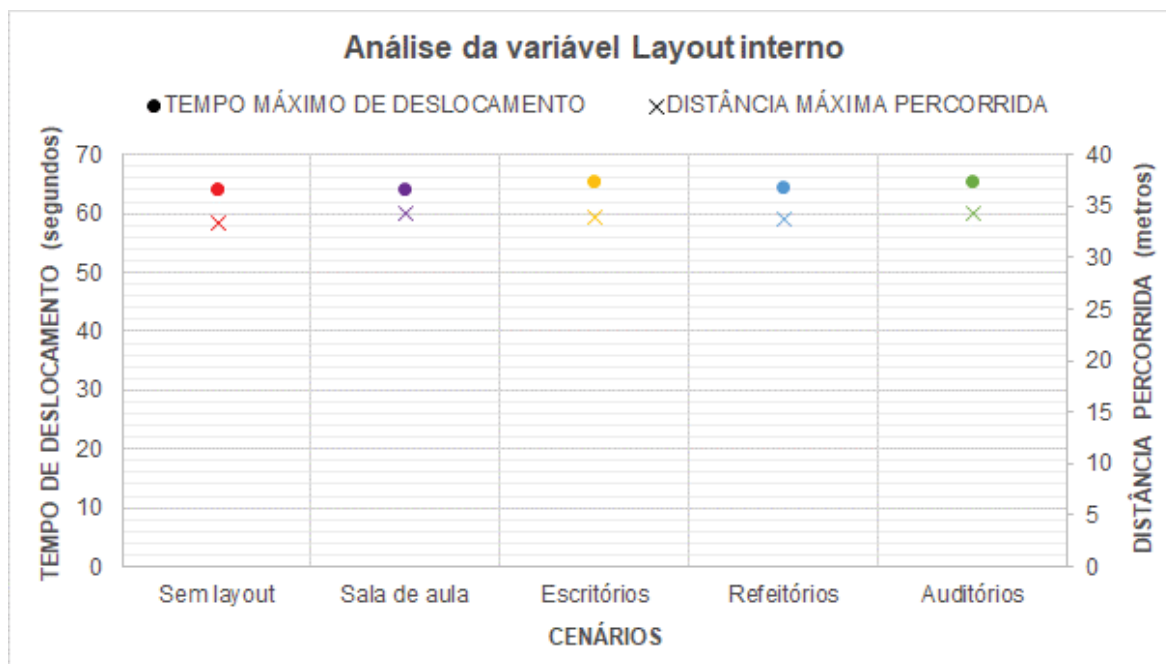
Para avaliar o impacto do *layout* interno e se o mesmo pode dificultar (gerar gargalos/estrangulamentos) ou organizar os fluxos, foram desenvolvidos quatro modelos com propostas de *layout*, sendo um para salas de aula, um para escritórios, um para refeitórios e um para auditórios, conforme representado no quadro 18.

Quadro 18 – Variações para *Layout* Interno



Fonte: Elaborada pela autora.

O gráfico 9 representa a média dos resultados obtidos ao rodar cada variação de *Layout* Interno e obter CV máximo de 5%. Dados complementares podem ser verificados na tabela I do Apêndice C.

Gráfico 9 – Resultado para *Layout* Interno

Fonte: Elaborado pela autora.

Neste estudo, com mobiliário apenas no interior das salas, não foi verificado impacto do *layout* no tempo de deslocamento. No entanto, ao formular as propostas de *layout* iniciais, foram necessários ajustes para garantir que nenhum ocupante ficaria preso na simulação devido à geometria estreita. Resolvida a questão de ocupantes não ficarem presos, o *layout* praticamente não influenciou no tempo de deslocamento dos modelos rodados.

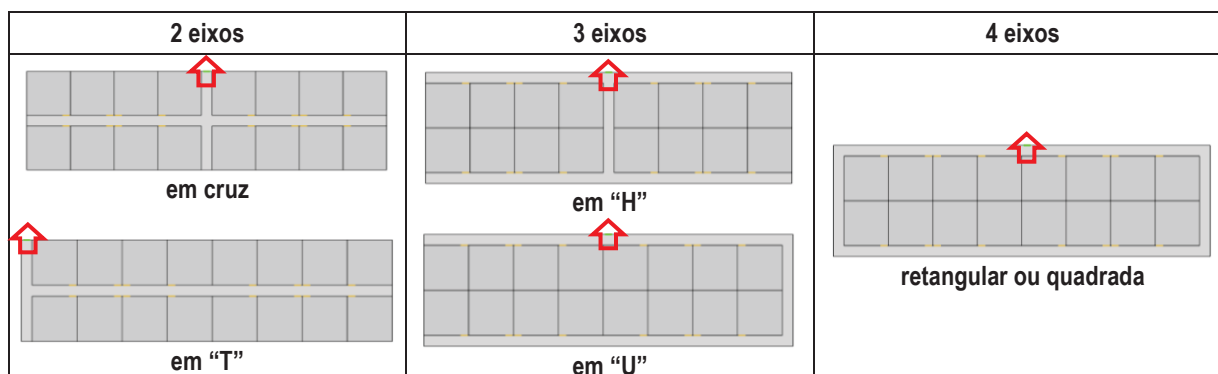
4.1.2.2.4 Circulação Horizontal

Em relação à circulação horizontal, foram consideradas duas variáveis para análise: Formato e Largura.

A) Formato

Para avaliar como a diferença de tempo de deslocamento é influenciada pela distância percorrida e pelos congestionamentos, foram elaboradas variações do formato e disposição da circulação horizontal com 2 a 4 eixos, conforme esquemas representados no quadro 19.

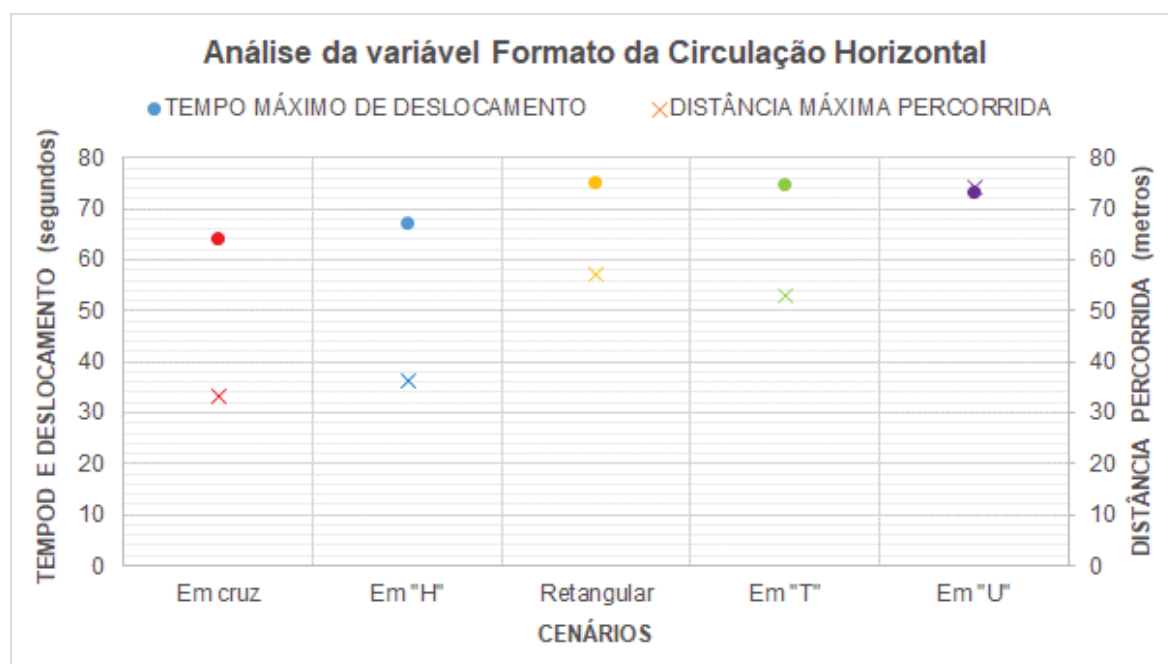
Quadro 19 – Variações para circulação horizontal



Fonte: Elaborado pela autora.

A partir da média dos resultados obtidos ao rodar cada variação cujo CV foi inferior a 10%, foi gerado o gráfico 10. Dados complementares constam na tabela J do Apêndice C.

Gráfico 10 – Resultado para Formato da Circulação Horizontal



Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados apontaram variações mais significativas em relação à distância percorrida do que em relação ao tempo de deslocamento. No formato de circulação em "U", a distância percorrida superou o dobro do Modelo de Referência, mas o tempo final, apesar de ter aumentado, não foi o mais alto, estando um pouco abaixo das opções em "T" e retangular. Assim como na análise do formato geométrico da planta, a complexidade do trajeto (mudanças de sentido/direção) não demonstrou impacto significativo.

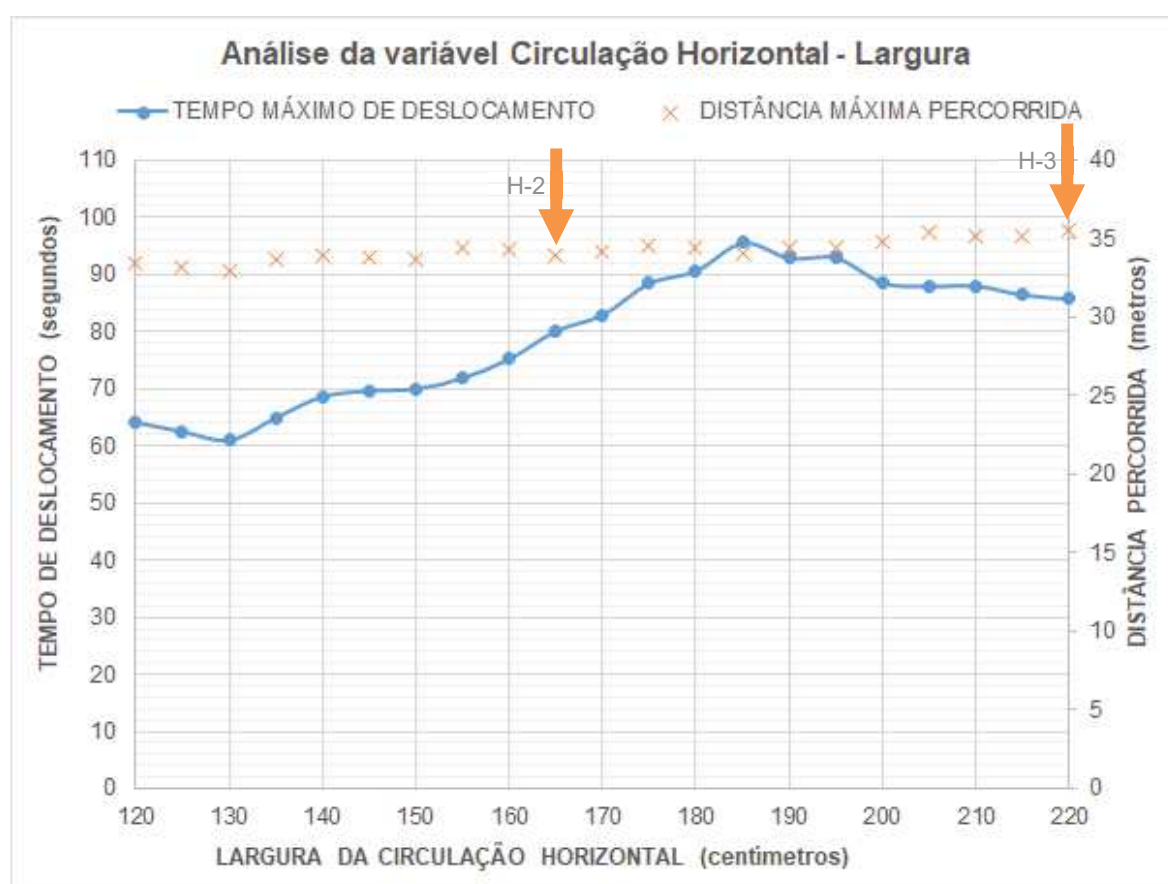
Esta variável faz parte do partido arquitetônico e pode ser de difícil alteração em edificações existentes, devendo merecer atenção no momento de concepção do projeto.

B) Largura

Para avaliar se o impacto isolado da variação de largura da circulação horizontal é diretamente ou inversamente proporcional ao tempo de deslocamento, a dimensão mínima de 120cm (ocupações em geral conforme a IN 09 do CBMSC) foi variada com acréscimos de 5cm cada até a largura final de 220cm.

A partir da média dos resultados obtidos ao rodar cada variação cujo CV foi inferior a 10%, foi gerado o gráfico 11. Dados complementares constam na tabela K do Apêndice C.

Gráfico 11 – Resultado para Largura da Circulação Horizontal



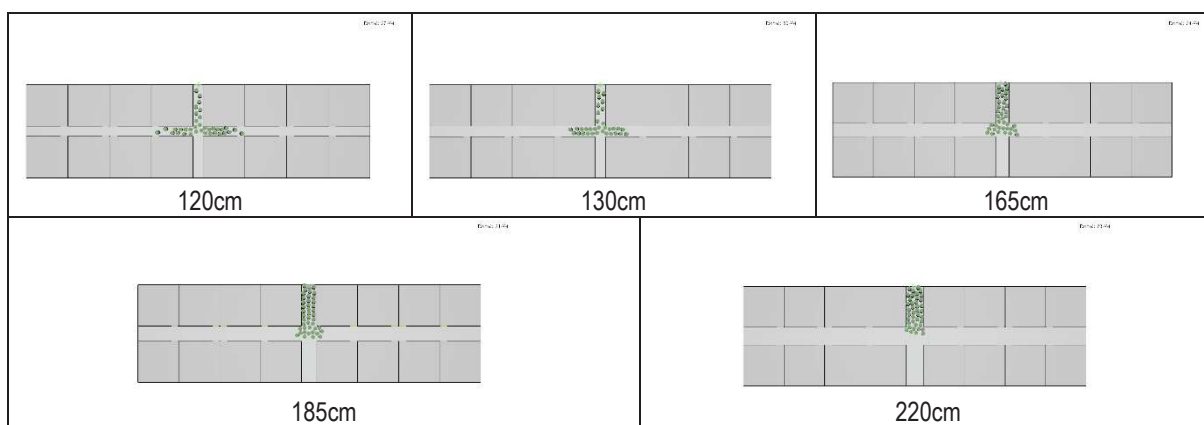
Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados do gráfico 11 demonstram que, isoladamente, o acréscimo da largura da circulação horizontal pode ampliar o tempo total de deslocamento e pouco influir na distância percorrida. O tempo total de deslocamento, inicialmente, reduziu até a largura de 130cm e

depois passou a aumentar até o ápice de 95,56 segundos com a largura de 185cm. Na sequência, os valores reduziram, mas mantiveram-se mais elevados do que o resultado do Modelo de Referência. Considerando que, para as ocupações H2 e H3, as larguras mínimas estabelecidas na IN 09 CBMSC são distintas das demais ocupações em geral, foram indicadas as respectivas larguras no gráfico.

Para complementar a análise, foram comparadas imagens aos 35 segundos para simulações com circulação horizontal nas larguras de 120cm, 130cm, 165cm, 185cm e 220cm, conforme indica o quadro 20.

Quadro 20 – Resultado aos 35 segundos para variação de largura da circulação horizontal



Fonte: Elaborado pela autora.

Além das imagens dos ocupantes, o recorte das cenas aos 35 segundos indica o total de evacuados para cada modelo: 27 para 120cm, 30 para 130cm, 24 para 165cm, 21 para 185cm e 23 para 220cm. Nas imagens 165cm a 220cm, é visível a aglomeração formada próximo a porta de saída, que foi mantida com 80cm de largura. Este congestionamento junto à descarga amplia o tempo total de deslocamento, resultando pior do que em larguras mais estreitas.

4.1.2.2.5 Portas de Saída de Emergência




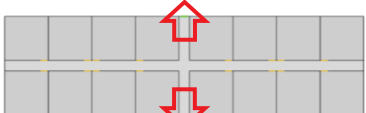


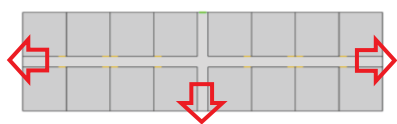
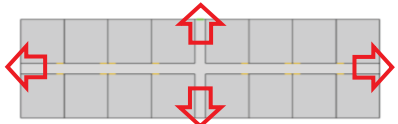
Para avaliar a influência do projeto das portas de saídas de emergência, foram analisadas três variáveis: Quantidade, Disposição e Largura.

A) Quantidade e Disposição

Para avaliar se o impacto da variação na quantidade portas de saída disponíveis é diretamente ou inversamente proporcional ao tempo de deslocamento, assim como para

verificar se o impacto da disposição das portas é influenciado pela proximidade e ângulo entre as portas, foram propostas análises para até quatro opções de saídas de emergência e foram feitas variações na disposição das portas de saídas de emergência, gerando os esquemas apresentados no quadro 21. Em todos os casos, a largura da porta foi mantida com 80cm.

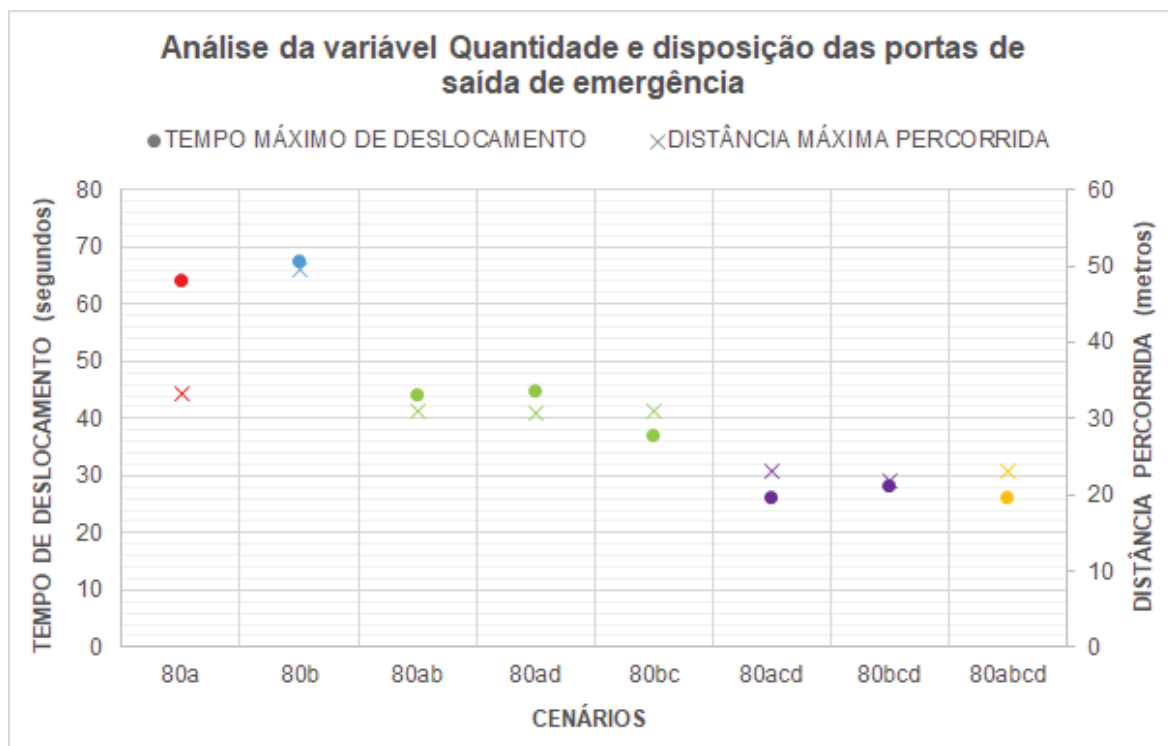
Quadro 21 – Variações para disposição de portas de saídas de emergência

1 saída	 80a	 80b	
2 saídas	 80ab	 80ad	 80bc
3 saídas	 80acd	 80bcd	
4 saídas	 80abcd		

Fonte: Elaborado pela autora.

Ao rodar cada variação, foram obtidos os valores médios com CV inferior a 10% e foi gerado o gráfico 12, cujos dados complementares constam na tabela L do Apêndice C.

Gráfico 12 – Resultado para Quantidade e Disposição de Portas de Saída de Emergência



Fonte: Elaborado pela autora.

O gráfico 12 aponta que o impacto do aumento do número de portas de saídas é significativo para a redução do tempo total de deslocamento, sendo menos perceptível a variação de três para quatro portas. Nos casos com três e quatro portas, o tempo reduziu para menos da metade do tempo em relação ao Modelo de Referência, sendo que a redução do tempo com a duplicação de portas, apesar de ter menor impacto, também foi considerável. A diferença na disposição das portas foi mais significativa para o tempo total de deslocamento nos casos com duas portas. Em relação às distâncias percorridas, apesar da variação constatada na diferença de disposição de uma única porta, três e quatro portas, este fator não foi considerado significativo para o tempo total de deslocamento.

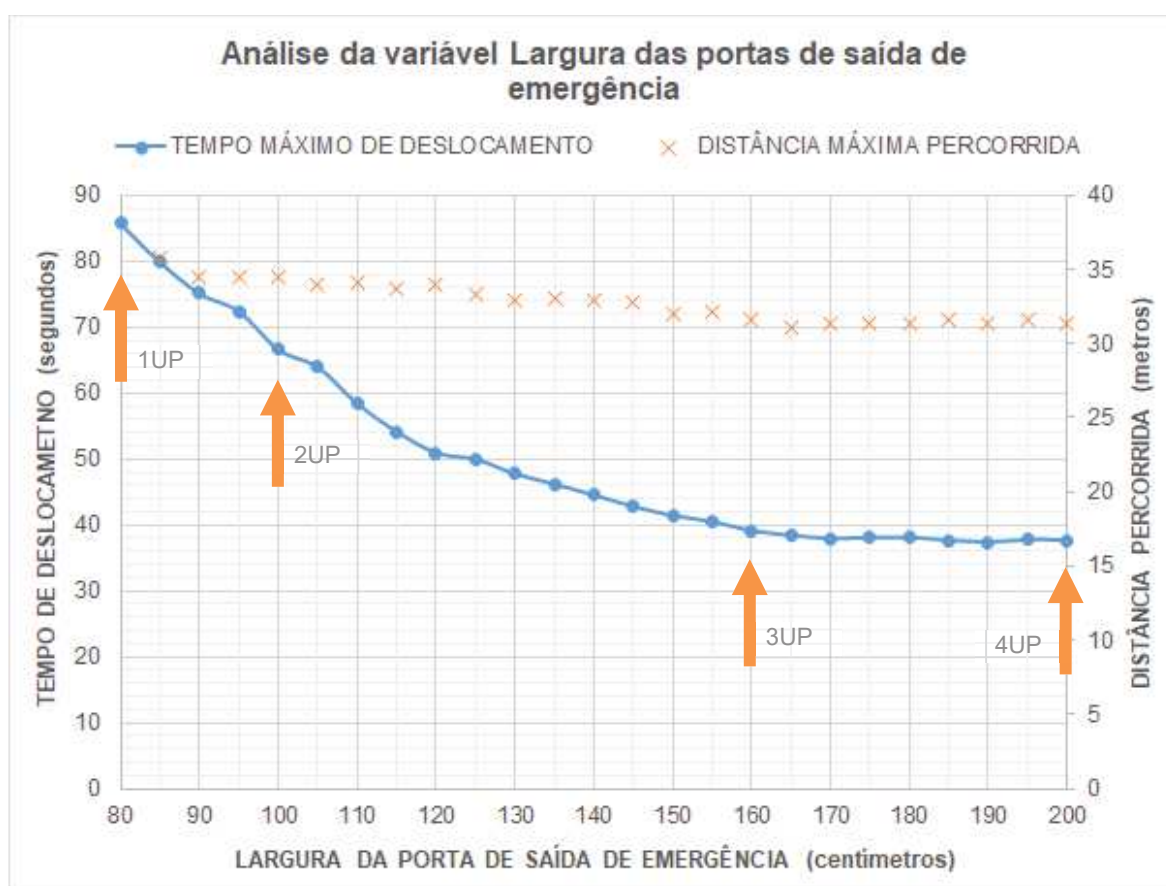
B) Largura

Para avaliar se o impacto isolado da variação de largura da porta de saída da rota de fuga é diretamente ou inversamente proporcional ao tempo de deslocamento, a largura inicial mínima de 80cm do Modelo de Referência, dimensionada conforme a IN 09 do CBMSC e equivalente a uma unidade de passagem, foi variada de 5cm em 5cm até a largura de 200cm, equivalente a quatro unidades de passagem. Para simular a largura de porta de saída de emergência com dimensão maior que a largura da circulação de 120cm do Modelo de

Referência, foi necessário ajustar a largura de circulação do Modelo de Referência para 220cm. Não foram feitas variações na disposição e largura das portas internas de cada ambiente, sendo mantida a largura de 80cm.

A partir da média dos resultados obtidos após rodar cada variação e obter o CV inferior a 10%, foi gerado o gráfico 13, cujos dados complementares podem ser verificados na tabela M do Apêndice C.

Gráfico 13 – Resultado para Largura da Porta de Saída de Emergência



Fonte: Elaborado pela autora.

O gráfico 13 indica os valores de largura equivalentes ao número de unidades de passagem estabelecido na IN 09 CBMSC e confirmou o impacto positivo do aumento da largura da porta de saída de emergência em relação à redução do tempo total de deslocamento, que chegou a valores próximos da metade em relação ao modelo de referência. Observa-se que a redução do tempo foi gradativa até a largura equivalente a 3UP, sendo que o aumento da largura nas dimensões entre 3UP e 4UP gerou tempo de deslocamento mais estável, com pouca alteração. Em relação à distância máxima a ser percorrida, praticamente não houve variação.

4.1.2.2.6 Circulação Vertical

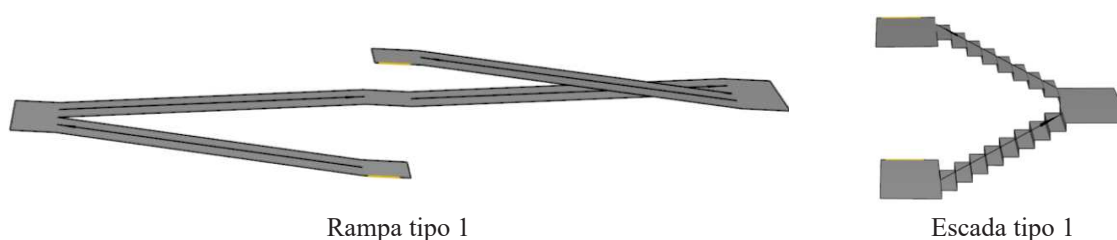
Para simular rota de fuga vertical, o Modelo de Referência foi multiplicado para representar pavimentos superiores. A altura de cada pavimento foi gerada a partir da criação de escada que cumpre a fórmula de Blondel, prevista tanto na NBR 9050 quanto na IN 09 CBMSC: $63 \text{ cm} \leq (2h + b) \leq 65 \text{ cm}$, onde h representa a altura ou espelho do degrau, que deve ter entre 16 e 18cm, e b representa a base ou piso do degrau, que deve ter 28 e 32cm. Desta forma, a altura de cada pavimento resultou em 306cm, com escada cujos degraus têm 17cm de altura e 30cm de base. Como alternativa ao deslocamento vertical por escada, foi elaborada proposta de rampa composta por quatro lances de projeção horizontal de 920cm cada (inclinação $\leq 8,33\%$, conforme NBR 9050).

A circulação vertical foi avaliada em relação a quantidade de pavimentos, quantidade, disposição e formato do elemento de circulação vertical, e em relação área de resgate.

A) Quantidade de pavimentos

Para avaliar o impacto do número de pavimentos em relação ao tempo de deslocamento, assim como a variação referente a opção por rampa ou escada, foram simulados modelos de até 10 pavimentos. Os modelos de rampa e escada utilizados foram os indicados na figura 5.

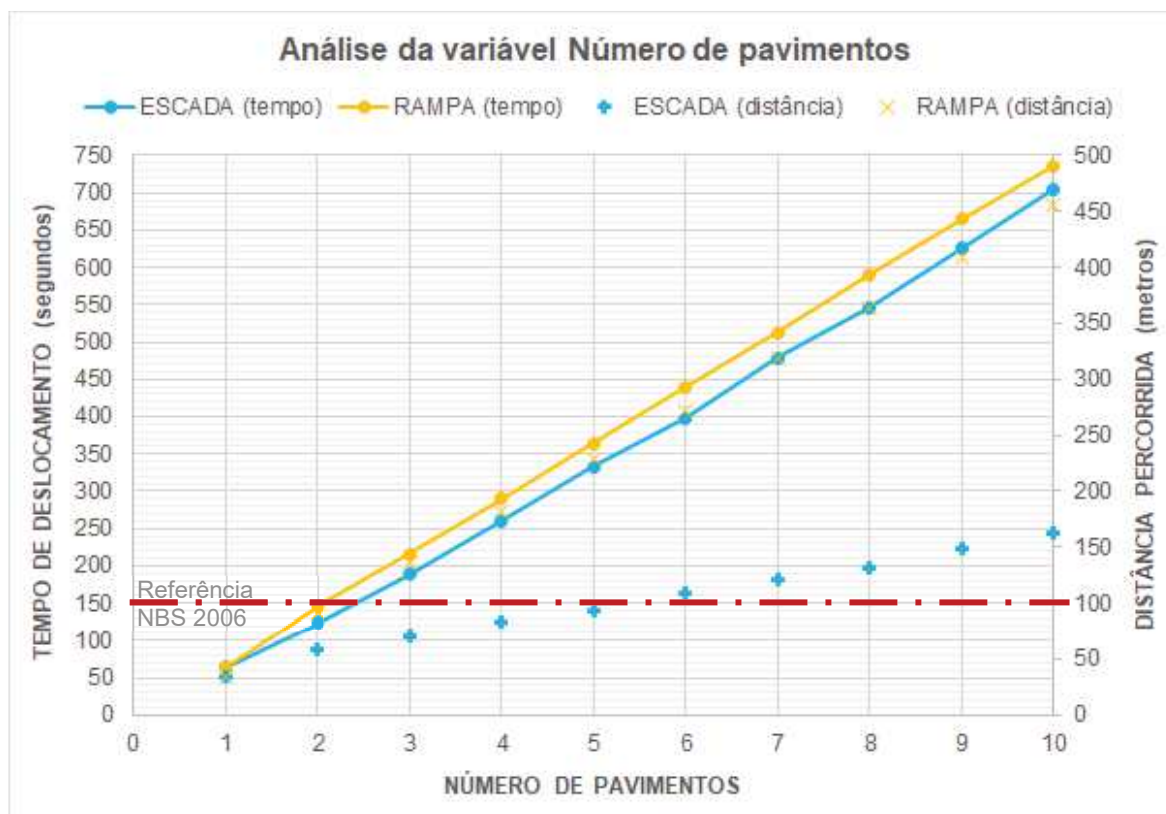
Figura 5 – Formato de rampa e escada simuladas para análise do acréscimo de andares



Fonte: Elaborada pela autora.

O gráfico 14, gerado a partir da síntese dos valores médios com CV inferiores a 5% obtidos ao rodar cada variação, aponta que a diferença nos valores de tempo total de deslocamento entre a opção por escada em relação à opção por rampa não é tão significativa quanto a diferença entre as distâncias máximas percorridas. Dados complementares podem ser verificados na tabela N do Apêndice C.

Gráfico 14 – Resultado para Número de Pavimentos



Fonte: Elaborado pela autora.

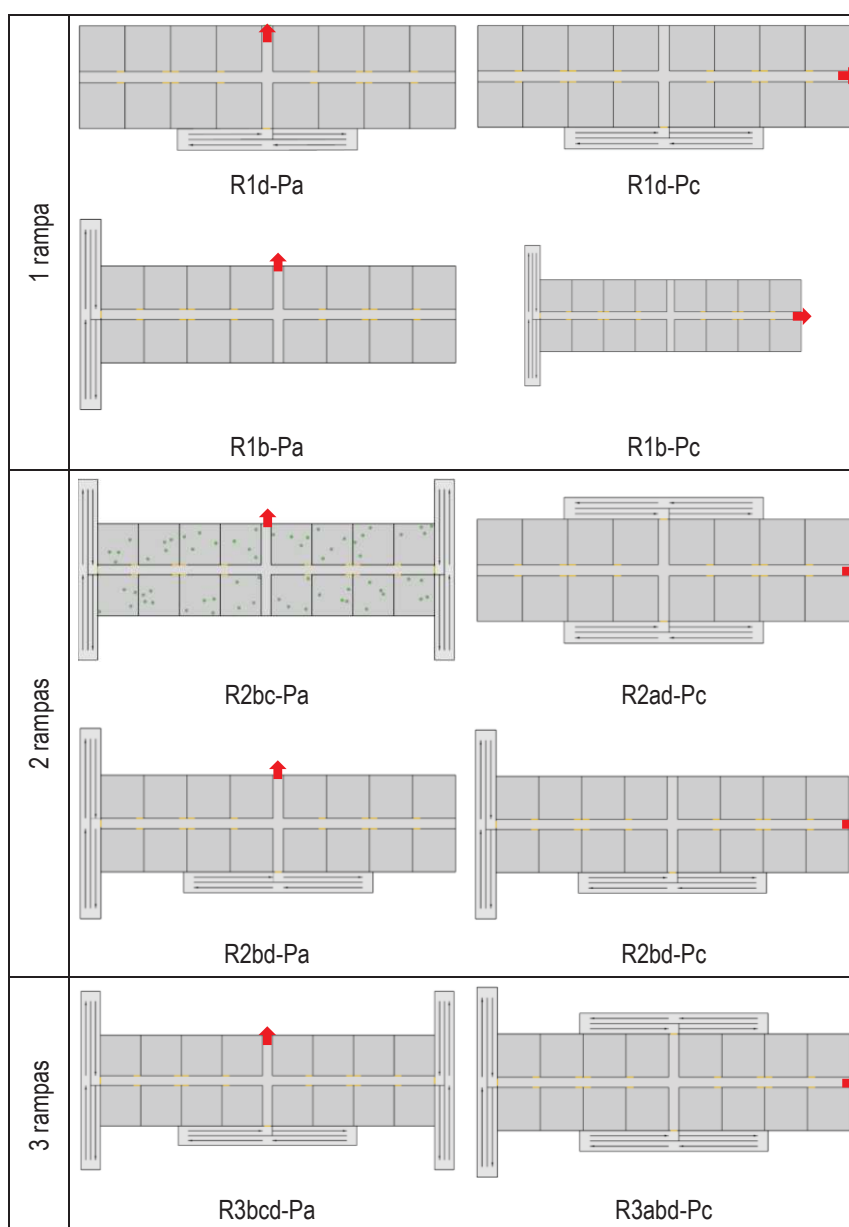
É válido ressaltar que a opção por rampa demanda maior área construída e pode demandar maior tempo total de deslocamento, tendo em vista a maior distância a percorrer por aqueles que não podem utilizar degraus. No entanto, a rampa permite maior autonomia aos usuários cuja condição física os impossibilita de utilizar escadas, como é o caso de PCRs.

A partir de três pavimentos, tanto o modelo com escada quanto o modelo com rampa apresentaram tempo superior ao estabelecido na NBS 2006. Este valor de tempo total de deslocamento considerou escada comum interna, sem proteção ou antecâmara. O aumento significativo do tempo indica a importância de escadas ou rampas de emergência protegidas, enclausuradas, ou à prova de fumaça, porque, nestes casos, o tempo até a área segura é menor e permite a continuidade do trajeto em ambiente afastado de fumaça e fogo. O tempo utilizado para alcançar área de relativa segurança foi avaliado no tópico “Área de resgate” e no Estudo de Caso.

B) Quantidade e Disposição

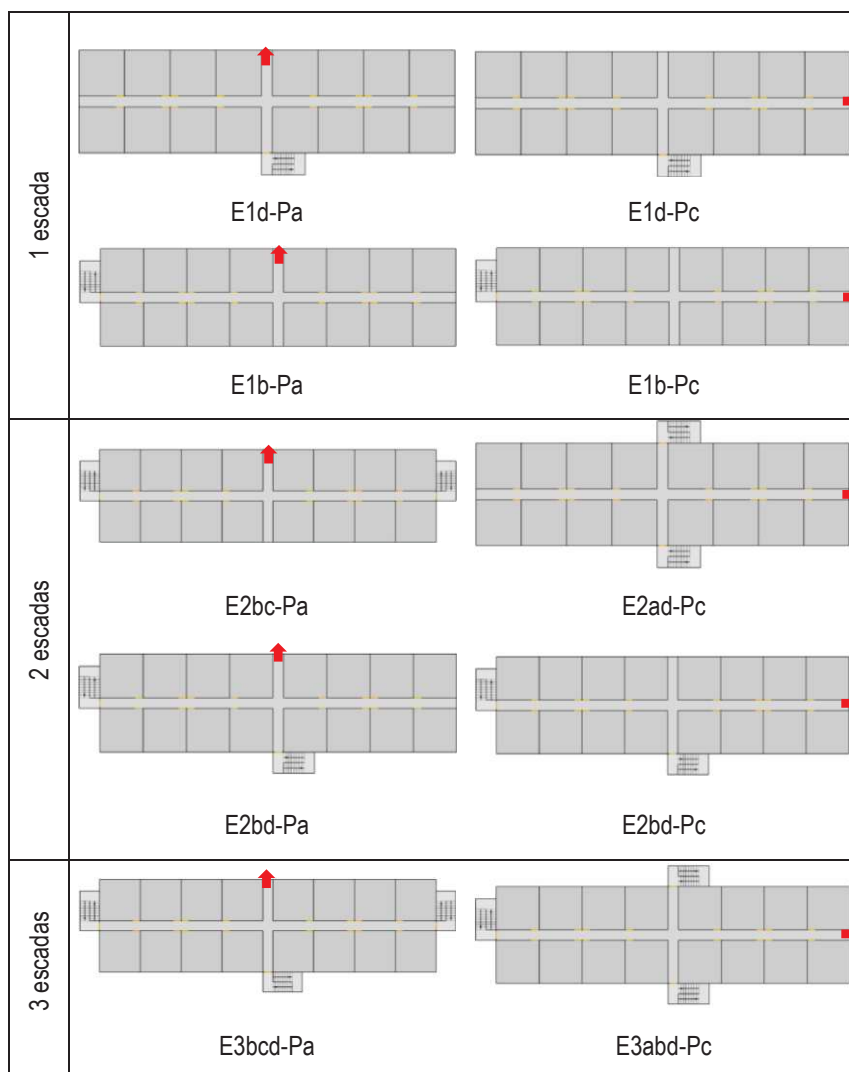
Para avaliar o impacto da Quantidade e Disposição de rampa ou escada para fuga vertical, foram propostos modelos com 1, 2 ou 3 rampas ou escadas posicionadas de forma paralela ou perpendicular à porta de descarga para edificações de 10 pavimentos. O quadro 22 apresenta os modelos simulados para rampas e o quadro 23 os modelos para escadas.

Quadro 22 –Variações para Quantidade e Disposição de Rampas



Fonte: Elaborado pela autora.

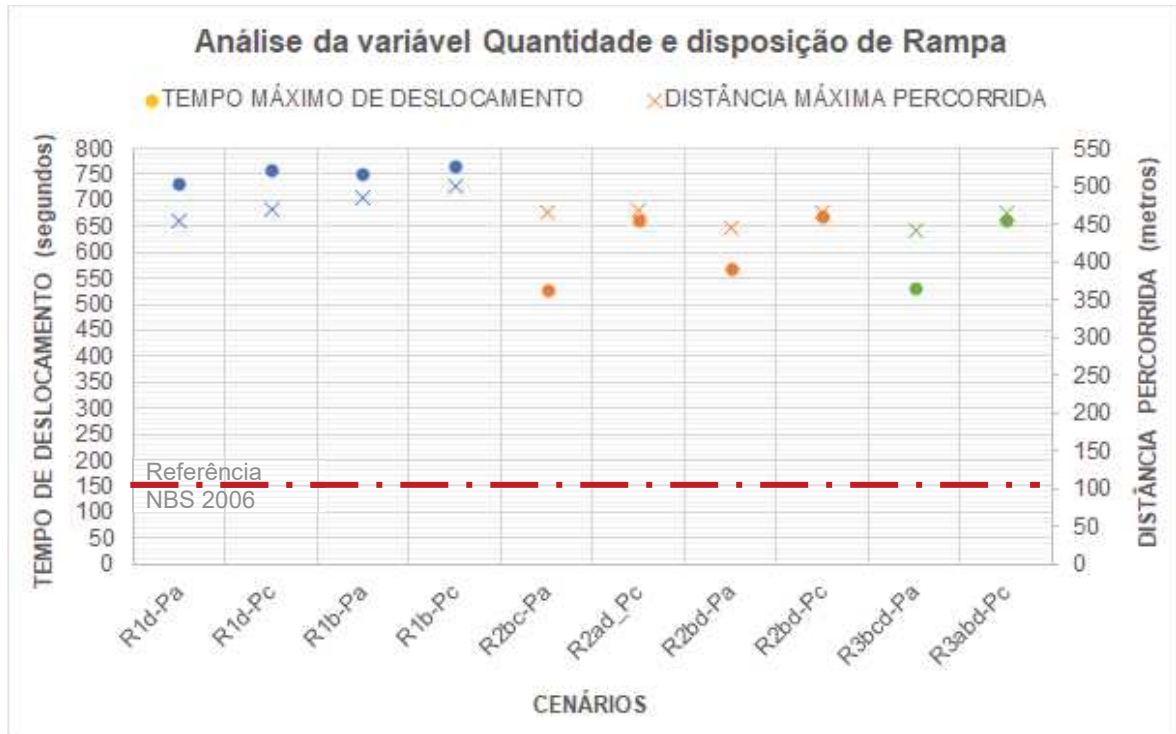
Quadro 23 – Variações para Quantidade e Disposição de Escadas



Fonte: Elaborado pela autora.

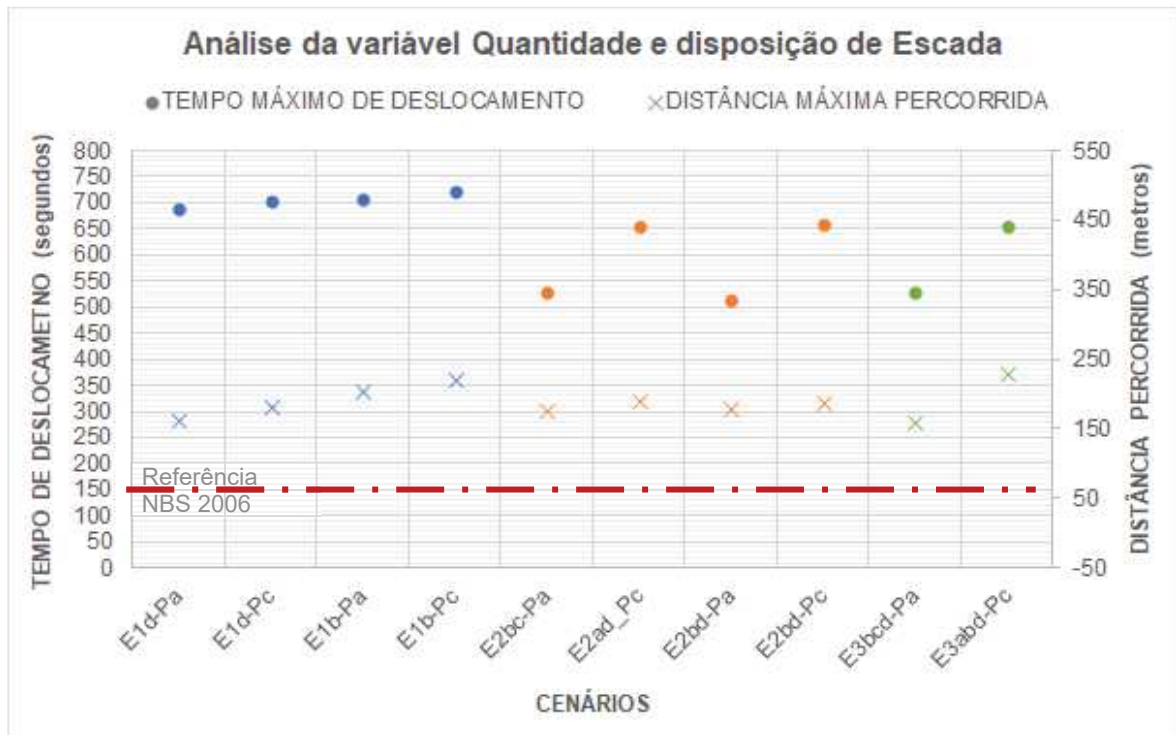
Após rodar cada variação e obter a média dos resultados cujo CV foi inferior a 10%, foram gerados os gráficos 15 e 16. Dados complementares podem ser verificados nas tabelas O e P do Apêndice C.

Gráfico 15 – Resultado para Quantidade e Disposição de Rampas



Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 16 – Resultado para Quantidade e Disposição de Escadas



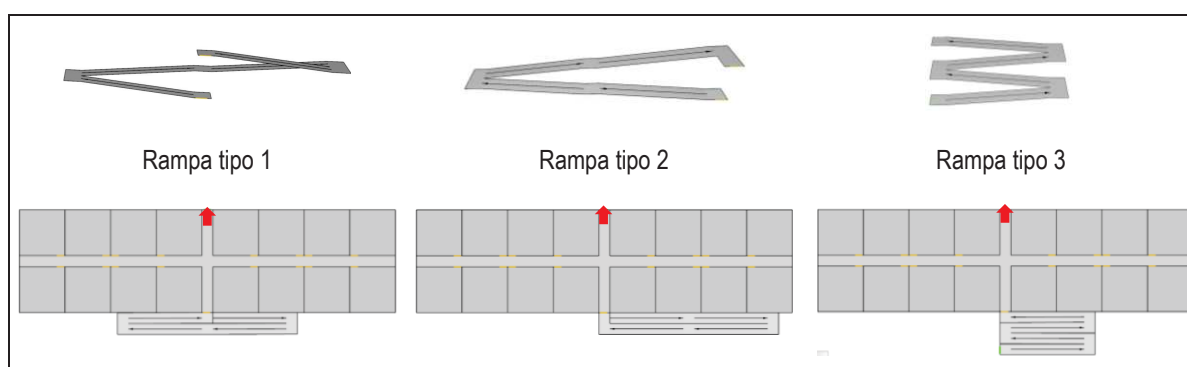
Fonte: Elaborado pela autora.

Os gráficos 15 e 16 apresentaram desenho semelhante em relação à variação na quantidade e disposição de rampas ou escadas, embora os valores de tempo para rampa sejam mais elevados do que para escada, assim como os valores de distância percorrida em rampas são mais elevados do que para escada. Em relação à diferença de tempo entre os elementos de circulação vertical, nos casos com apenas uma rampa ou escada, os valores foram cerca de 50 segundos mais altos para rampa. Já nos casos com duas ou três rampas ou escada, houve valores mais próximos entre os dois tipos de elementos de circulação, que chegaram a quase se igualar no caso da disposição bc-Pa. Em relação à diferença de distância percorrida, em geral, o valor foi cerca de 270 a 290m mais longo para rampa. É válido destacar que, entre as opções com um elemento de circulação vertical e os modelos com dois elementos, a redução do tempo foi até cerca de 30%. As disposições com mais de um elemento de circulação vertical associado a porta de descarga no centro da face mais comprida foram as que apresentaram tempo de deslocamento menores, indicando a influência da disposição da porta de descarga.

C) Formato

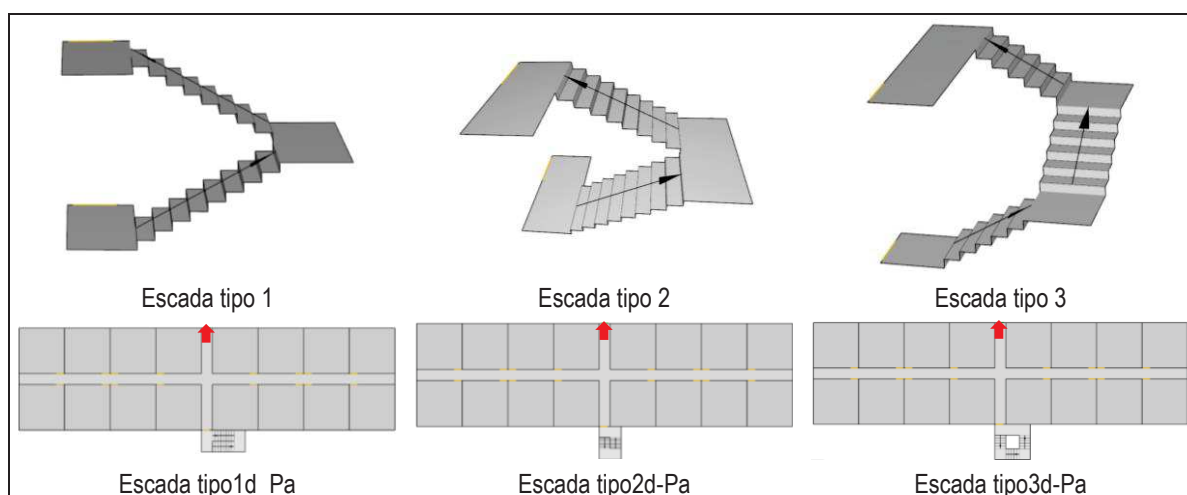
Para avaliar o efeito do Formato da rampa ou da escada, foram testados os modelos indicados no quadro 24 para rampas e no quadro 25 para escadas. As simulações para análise desta variável foram feitas considerando inicialmente apenas dois pavimentos.

Quadro 24 –Variações para Formatos de Rampa



Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 25 – Variações para Formatos de Escada

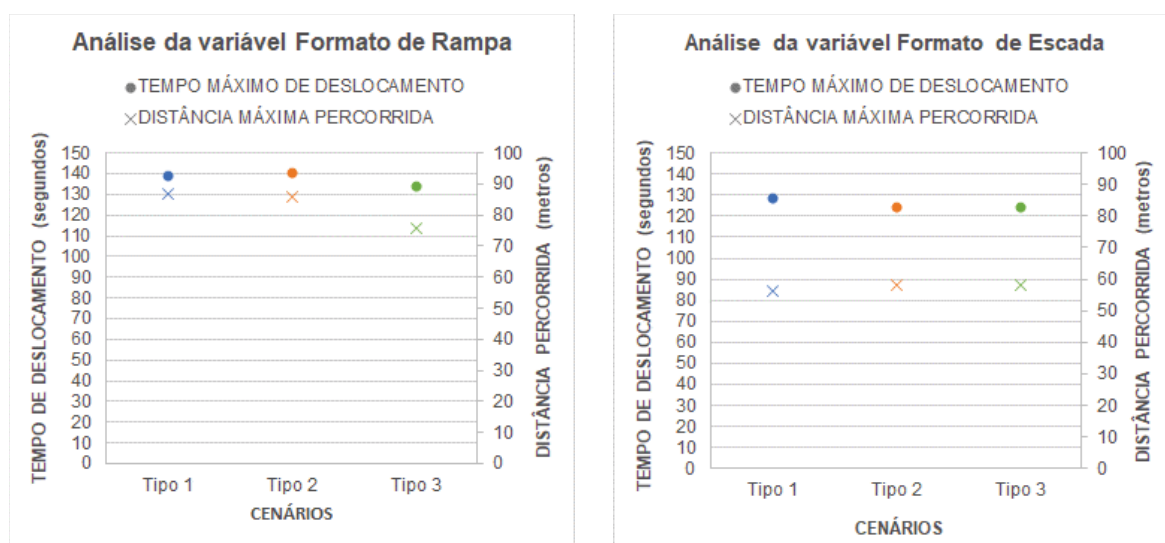


Fonte: Elaborado pela autora.

Os gráficos 17 e 18 mostram a média dos resultados obtidos nas simulações cujo CV foi inferior a 5%. Dados complementares constam nas tabelas Q e R do Apêndice C.

Gráfico 17 – Resultado para formato de rampa

Gráfico 18 – Resultado para formato de escada



Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados dos gráficos 17 e 18 indicam pouca influência do formato para rampa ou escada no tempo total de deslocamento.

D) Área de Resgate

Considerando que as simulações anteriores não empregaram escadas protegidas nem enclausuradas, apenas escada comum, sem antecâmara, para avaliar o impacto da inserção de

área de resgate, foram desenvolvidas três variações para inserção de área de resgate: área de resgate mínima, área de resgate considerando espera com acompanhante e área de resgate com dois módulos de referência. As simulações tiveram como base o Modelo de Referência com quatro pavimentos e a inserção de 5% de ocupantes em cadeira de rodas, acompanhados, cada qual, por um ocupante inicialmente no mesmo ambiente, em cada pavimento. Para auxiliar a fuga dos ocupantes em cadeira de rodas pelas escadas, foi considerado o uso de cadeira de evacuação, por requerer apenas um assistente que já estava associado à PCR desde o início da simulação. O quadro 26 ilustra os modelos simulados.

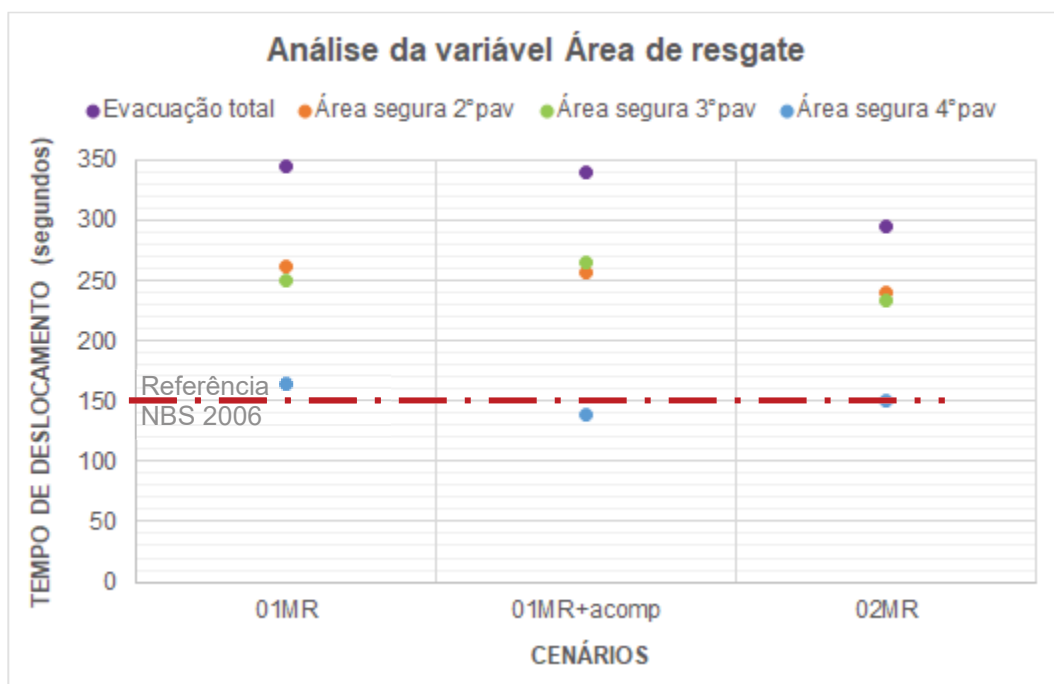
Quadro 26 – Variações para Área de Resgate



Fonte: Elaborado pela autora.

A partir da média dos resultados obtidos ao rodar cada variação e obter CV de até 10%, foram gerados o gráfico 19 e as tabelas S e T do Apêndice C.

Gráfico 19 – Resultado para Área de Resgate



Fonte: Elaborado pela autora.

O resultado mostrado no gráfico 19 indica a redução do tempo total de deslocamento com a ampliação da área de resgate e o tempo reduzido para atingir área de relativa segurança (antecâmara) por pavimento. O tempo para atingir a antecâmara no pavimento mais elevado é próximo ao indicado pela NBS 2006, pois é reduzido em função de não sofrer a influência cumulativa de ocupantes dos outros andares, como pode ser observado no tempo mais prolongado para atingir a área segura nos pavimentos 2 e 3.

4.2 DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO DE CASO

Após a calibragem das variáveis com modelo de referência, foi escolhido um projeto aprovado pelo CBMSC para simulação de estudo de caso utilizando os *inputs* testados. Seguindo as etapas propostas na Figura 2, o projeto selecionado foi modelado no *software* de simulação e foram definidas as variáveis de entrada referentes à população e ao projeto arquitetônico, os cenários a serem simulados e os critérios para análise. Nos tópicos a seguir, são descritas estas etapas de desenvolvimento da pesquisa.

4.2.1 Escolha da edificação

Para escolha do projeto para estudo de caso, considerando a priorização por edifício público de uso coletivo com mais de um pavimento, foi realizada busca no site <http://www.portaldecompras.sc.gov.br/>, onde são disponibilizados os Editais de Licitações do Governo Estadual de Santa Catarina. Foram procurados editais dos anos de 2019 a 2021 para contratação de obras que incluíssem a disponibilização de Projeto de Prevenção e Segurança Contra Incêndio e Pânico (PPCI) e Projeto de Acessibilidade e cujo acesso estivesse disponível no próprio site. O quadro 27 apresenta o resultado das buscas iniciais.

Quadro 27 – Busca por editais de licitação

Parâmetros de busca	Resultados
Órgãos: Todos os Órgãos Natureza: Obras Palavra-chave: preventivo Ano: 2019, 2020 e 2021	4 editais da Secretaria de Estado da Saúde (SES) para estabelecimentos de saúde: Hospital Infantil Joana de Gusmão – SES 2871/2019; Maternidade Carmela Dutra – SES 3003/2019; Instituto de Psiquiatria – SES 0606/2020; Hospital Geral e Maternidade Tereza Ramos – SES 0966/2020 36 editais da Secretaria de Educação (SED) para Manutenção de SCI de Coordenadorias Regionais de Educação – CRE Editais SED 0251/2021 a 0286/2021
Órgãos: Todos os Órgãos Palavra-chave: acessibilidade Ano: 2019, 2020 e 2021	1 edital da FCC: 0004/2019; 2 editais da FCEE: 0004/2019 e 0017/2019; 3 editais da SED: 0018/2019, 0261/2019 e 0366/2021; 5 editais da SES: 0304/2019, 1815/2019, 2363/2019, 1666/2021 e 1900/2021; 1 edital da SIE: 0008/2020; 4 editais da UDESC: 0615/2020, 0776/2020, 0904/2020 e 0605/2021; 1 edital da DPE: 001/2021; 3 editais da PMSC: 0082/2021, 0192/2021 e 0244/2021

Fonte: Elaborado pela autora.

Os editais de estabelecimentos de saúde foram descartados, pois há normativas específicas para este tipo de ocupação (NBR 16651), que não é objeto do presente estudo, e os editais das CREs foram descartados por serem voltados a manutenção. Entre os editais relacionados a acessibilidade, alguns eram voltados para elaboração de projetos e alguns destinavam-se a adequações de calçadas ou partes de edificações, não compreendendo a edificação total.

Entre os editais encontrados, a FCEE – Fundação Catarinense de Educação Especial destacou-se por se tratar de uma ocupação diferenciada (E6) e que inclui atendimento a público composto por uma pluralidade de usuários com limitações funcionais. Desta forma, foi realizada nova busca específica por projetos da FCEE. Entre outros editais listados na busca, destacaram-se o Edital FCEE 0011/2019 e o Edital SC SIE 0193-2021. O Edital de Tomada De Preços Nº 11/2019 se refere à “Elaboração de projeto legal e projeto executivo do novo prédio da FCEE, utilizando modelagem da informação da construção (BIM) a ser construído no Campus da Fundação no município de São José” e o Edital SC SIE 0193-2021 é referente a “Contratação de Empresa Especializada em Execução de Obra de Engenharia para CONSTRUÇÃO do novo prédio da Fundação Catarinense de Educação Especial, localizado na Rua Paulino Pedro Hermes, nº 2785, Nossa Senhora do Rosário, São José, SC”. Através destes dois editais, foi possível o acesso ao programa de necessidades dos centros a serem transferidos e o acesso aos projetos resultantes para uma nova edificação na FCEE. Esse novo projeto foi eleito para o estudo de caso que é descrito a seguir.

4.2.1.1 Fundação Catarinense de Educação Especial – FCEE

A Fundação Catarinense de Educação Especial é uma instituição pública estadual vinculada à Secretaria de Estado da Educação, responsável pela definição e coordenação de políticas de Educação Especial. Possui caráter beneficente, instrutivo e científico. Dotada de personalidade jurídica de direito público e sem fins lucrativos, a FCEE tem a missão de definir e coordenar a política de educação especial do Estado de Santa Catarina, fomentando, produzindo e disseminando o conhecimento científico e tecnológico desta área, o que resulta em benefícios a milhares de pessoas em todo o Estado de Santa Catarina, por meio de políticas públicas que visam à inclusão na sociedade com qualidade de vida.

A sede da FCEE está localizada no município de São José-SC, dentro do perímetro urbano da grande Florianópolis, e realiza atendimento à pessoa com deficiência através de 10 Centros de Atendimento Especializado, onde são praticados estudos, discussões, atendimentos e pesquisas em suas respectivas áreas de atuação. Atualmente esses 10 centros estão dispostos em sua maioria em edificações térreas isoladas. O projeto para novo prédio da FCEE, que é objeto de estudo de caso desta pesquisa, é composto de três pavimentos e abrigará sete Centros de Atendimento⁸:

- Centro de Reabilitação Ana Maria Philippi – CENER: Através de Programa de Estimulação precoce, atende crianças de 0 a 5 anos com deficiência ou com Atraso

⁸ Três Centros de Atendimento Especializado não serão relocados para o novo prédio, são eles:

- Centro de Educação Física – CEDUF: Presta serviços de educação especial na área da Educação Física Escolar, Atividade Física e Saúde e Prática Esportiva. Realiza atividades de iniciação e treinamento esportivo, práticas corporais, ginástica e musculação, com o propósito de inclusão da pessoa com deficiência na sociedade por meio da prática esportiva.
- Centro de Educação e Trabalho – CENET: Capacita profissionais, assessora os serviços na área da educação profissional e emprego de pessoas com DI e TEA, com perspectiva de qualificação profissional e inclusão no mercado de trabalho. Encaminha pessoas com deficiência para o mercado de trabalho.
- Centro de Educação e Vivência – CEVI: Tem como objetivo a melhoria ou manutenção das habilidades no desempenho de atividades sociais e familiares, promovendo a independência pessoal e social do educando/aprendiz, assim como a redução dos apoios e da sobrecarga do cuidador, visando favorecer a participação social, o convívio familiar e comunitário das PcD. Atua na qualificação do processo de viver e envelhecer. Atende educandos de diferentes faixas etárias com diagnóstico de DI moderada, grave ou profunda, associada ou não a outras deficiências e/ou diagnóstico de TEA; educandos de 6 a 17 anos com baixo nível funcional e associados a quadros de saúde e/ou comportamentais que inviabilizam sua permanência no ensino regular; educandos a partir dos 18 anos completos com baixo nível funcional e que apresentam limitação no desempenho de atividades cotidianas e restrição na participação das rotinas sociais e familiares, além de não estarem inseridos em outros espaços, no mercado de trabalho ou alguma atividade educacional; educandos com idade a partir de 40 anos que apresentem indicativos de mudanças e/ou perdas associadas ao envelhecimento e que não tenham oportunidade de participar de outros espaços sociais, tanto por questões funcionais quanto por questões sociais, detectados através de avaliação realizada por equipe multiprofissional; jovens e adultos que, no momento, não apresentam possibilidades de inserção no processo de qualificação profissional e/ou inclusão no mercado de trabalho, mas que têm habilidades para executar uma atividade laboral não remunerada, bem como aprender e produzir conhecimentos que contribuam para a promoção de sua independência e autonomia pessoal e sua participação social.

Global do Desenvolvimento e, através de Programa de Reabilitação, atende crianças e adolescentes de 6 a 17 anos com distúrbio ou doença envolvendo as estruturas e funções do Sistema Nervoso Central (SNC) ocorridos durante o período de desenvolvimento neuropsicomotor (até 4 anos) que apresentem como consequência deficiência em ao menos duas das seguintes funções do corpo: neuromusculoesqueléticas, mentais, da voz e fala, sensoriais e dor.

- Centro de Avaliação e Encaminhamento – CENAE: Atua na avaliação diagnóstica de pessoas com indicativos de Atraso Global de Desenvolvimento, Deficiência Intelectual, Transtorno do Espectro Autista (TEA) e Transtorno do Déficit de Atenção/Hiperatividade (TDAH). É responsável por pareceres de elegibilidade para concessão de benefícios a pessoas com deficiência.
- Centro de Capacitação de Profissionais de Educação e de Atendimento às Pessoas com Surdez – CAS: Presta serviços especializados na área da surdez e da surdo-cegueira. Promove a acessibilidade e a difusão da Libras por meio da Central de Intérpretes de Libras e do Serviço de Produção de Materiais em Libras.
- Centro de Tecnologia Assistiva – CETEP: Capacita profissionais e assessora os serviços na área da Tecnologia Assistiva e Educacional, bem como fornece suporte aos profissionais e educandos dos Centros de Atendimentos Especializado da FCEE, profissionais da educação especial envolvidos com PcD, profissionais da rede regular de ensino e dos Centros de Atendimento Especializados (CAESP) do Estado de Santa Catarina e pessoas encaminhadas pela Coordenadoria Regional de Educação (CRE) da Grande Florianópolis para a prescrição de meios auxiliares de locomoção.
- Núcleo de Atividades de Altas Habilidades/ Superdotação – NAAHS: Avalia e presta atendimento educacional especializado para os alunos com indicativo de altas habilidades/superdotação matriculados na rede regular de ensino.
- Centro de Apoio Pedagógico e Atendimento às pessoas com Deficiência Visual – CAP: Capacita profissionais e assessora serviços na educação especial relacionados à cegueira e à baixa visão. Acompanha educandos com deficiência visual, produz livros didáticos acessíveis, elabora pesquisas e presta atendimento aos usuários encaminhados pelo SUS dos municípios, pessoas com deficiência visual e com perdas ou atrofia oculares que são elegíveis para reabilitação visual e adaptação de prótese ocular.

- Centro Especializado em Transtorno do Espectro Autista / Núcleo de Atendimento Educacional Especializado – CETEA/ NAAE: Oferta serviço de Intervenção Precoce para educandos com TEA e os serviços de Atendimento Educacional Especializado para educandos com TEA, Deficiência Intelectual (DI) e TDAH. Realiza capacitações, assessoramento técnico e análises de processos quanto aos serviços de Atendimento em Classe – AC (segundo professor de turma) e de Atendimento Educacional Especializado (AEE).

O CENER e o CENAE foram lotados no piso térreo, junto a uma enfermaria de uso compartilhado e área de recepção. O CAS, o CETEP e o NAAHS foram lotados no piso intermediário, onde há também uma biblioteca de uso coletivo. O CAP e o CETEA foram lotados no piso superior junto a um auditório, uma sala de reuniões e uma central de TI. Além dos centros específicos há uma recepção de uso compartilhado em cada pavimento.

No projeto arquitetônico e no Programa de Necessidades, é possível identificar que a edificação é composta de diversas salas que conformam uma planta com grande compartimentação de ambientes. O térreo é composto principalmente por ambientes de consultório/atendimento individualizado, acrescidos de áreas administrativas, sendo importante destacar a escolha por estabelecer o CENER e o CENAE neste piso, visto que estes centros, especialmente o CENER, tratam de ocupantes que têm deficiências cognitivas e deficiências físicas que podem afetar a mobilidade. O pavimento intermediário e o pavimento superior são formados por ambientes educacionais, ambientes de consultório/atendimento individualizado e áreas administrativas dos outros cinco centros presentes na edificação, sendo que no CAS e no CAP há também ambientes técnicos de produção de materiais adaptados.

A escolha pela circulação vertical principal através de uma escada e três elevadores atende o item 6.3 da NBR 9050 por ofertar duas formas de deslocamento vertical. No entanto, apesar de ser uma edificação voltada para pessoas com deficiência, com ambientes de uso compartilhado localizados em pisos não térreos, não foi proposta a opção de nenhuma rampa ou elevador para o caso de evacuação emergencial.

O PPCI para o novo prédio da FCEE foi elaborado inicialmente com base na IN 09 de 2014, mas foi aprovado segundo a IN 09 de 2020 após solicitação via ofício, conforme registrado no Sistema Integrado de Gerenciamento de Atividades – SIGAT, do CBMSC e demonstrado na figura 6.

Figura 6 – Etapas finais do processo de análise de PPCI do novo prédio da FCEE

FUNDAÇÃO CATARINENSE DE EDUCAÇÃO ESPECIAL	13/04/2020	63294	VISTORIA EFETUADA SEM O PAGAMENTO	PROCESSO INDEFERIDO ?	EM DÉBITO ?
FUNDAÇÃO CATARINENSE DE EDUCAÇÃO ESPECIAL	09/06/2020	63294	VISTORIA EFETUADA SEM O PAGAMENTO	PROCESSO INDEFERIDO ?	EM DÉBITO ?
FUNDAÇÃO CATARINENSE DE EDUCAÇÃO ESPECIAL	25/06/2020	63294	VISTORIA EFETUADA SEM O PAGAMENTO	PROCESSO INDEFERIDO ?	EM DÉBITO ?
FUNDAÇÃO CATARINENSE DE EDUCAÇÃO ESPECIAL	24/07/2020	63294	VISTORIA EFETUADA SEM O PAGAMENTO	PROCESSO INDEFERIDO ?	EM DÉBITO ?
FUNDAÇÃO CATARINENSE DE EDUCAÇÃO ESPECIAL	08/08/2020	63294	VISTORIA EFETUADA SEM O PAGAMENTO	PROCESSO INDEFERIDO ?	EM DÉBITO ?

- Alteração referente a uma área de 6.734,00m². Bloco A. Projeto apresentado como novo. Área total final do complexo FCEE 16.097,67m².

5ª Análise Digital – (08/08/20)

1- Alterações Gerais:
 1.1- A escada comum presente no hall principal da edificação elimina a compartimentação entre pavimentos e diminui o caminhamento máximo até as escadas para 20 metros. Porém, normas como a IT11 de São Paulo e a atual IN09 do CBMSC preveem um caminhamento maior. O projeto foi analisado conforme as INs anteriores, sendo necessário apenas um ofício solicitando a análise conforme IT ou IN acima referidas;
 1.2- Retirar representação do duto com DEF e DEA uma vez que não existe escada no projeto com DEA. Deixar somente representação de DEF.
 1.3- No retorno, com o ofício, o projeto será aprovado;

2- OBSERVAÇÕES:
 2.1- Consultas técnicas:
 - Agendamento telefônico através do número: WhatsApp (48) 98469-5740
 2.2- Instruções Normativas disponíveis em: <http://www.cbm.sc.gov.br/dat/index.php/instrucoes-normativas-in>

FUNDAÇÃO CATARINENSE DE EDUCAÇÃO ESPECIAL	16/09/2020	63294	VISTORIA EFETUADA SEM O PAGAMENTO	PROCESSO DEFERIDO ?	EM DÉBITO ?
---	------------	-------	-----------------------------------	---------------------	-------------

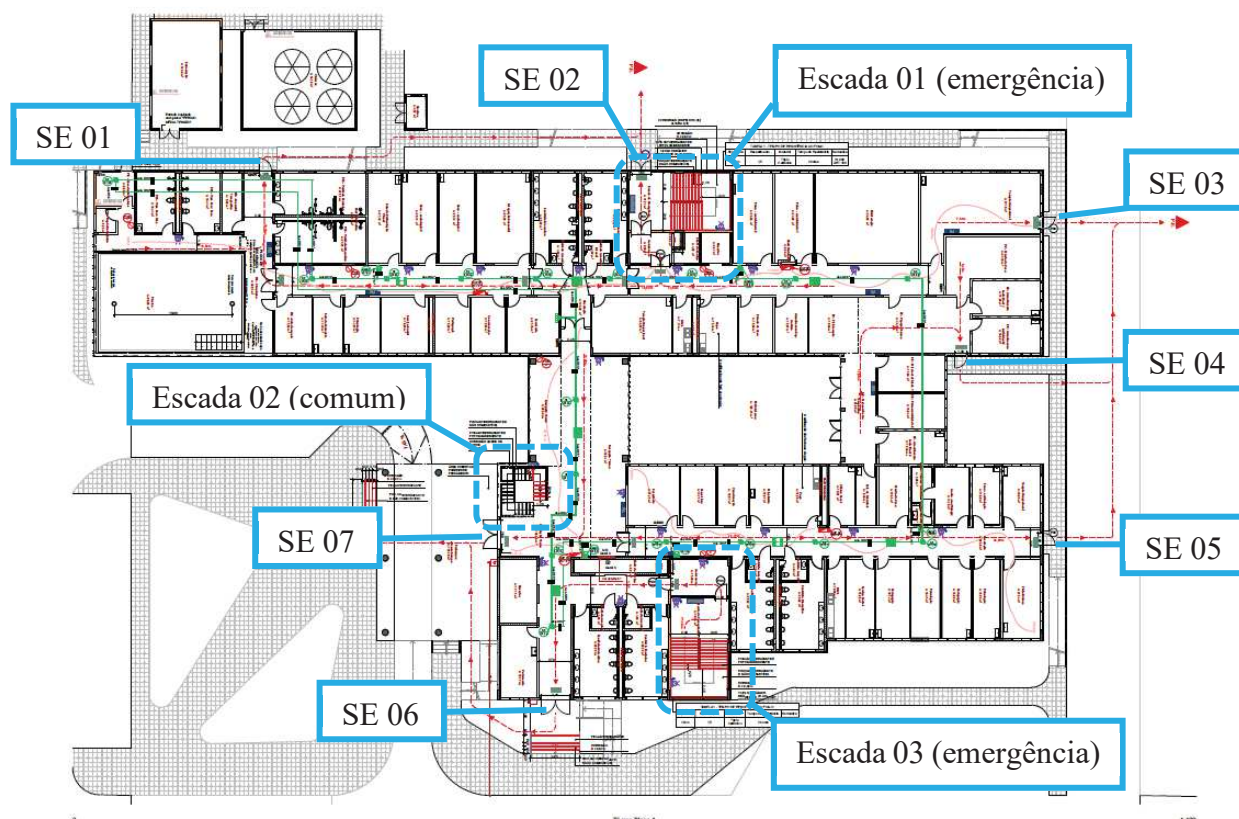
- Alteração referente a uma área de 6.734,00m². Bloco A. Projeto apresentado como novo. Área total final do complexo FCEE é de 16.097,67m². - Conforme a nova IN09 (vigente a partir de 31/07/2020) a compartimentação vertical não é obrigatória para esta edificação de acordo com sua altura, desta forma, a escada comum presente no hall principal da edificação não representa risco para a ocupação. Todos os caminhamentos necessários são atendidos pelas escadas projetadas. - Projeto aprovado possuindo uma cópia digital e uma cópia física arquivados junto ao CBMSC. - Qualquer alteração no projeto preventivo deverá ser previamente aprovada pelo CBMSC. - A edificação deve possuir plano de emergência conforme IN31.
 O PROCESSO FOI DEFERIDO COM SUCESSO. COMPAREÇA O SAT - SETOR DE ATIVIDADES TÉCNICAS DO CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SUA CIDADE PARA RETIRAR O ATESTADO DE DEFERIMENTO.

Fonte: https://sigat.cbm.sc.gov.br/sigat/modulos/solicitacoes/acompanha_solicitacao.php

Além da questão da compartimentação e do caminhamento apontados no SIGAT do CBMSC, a atualização da IN 09 em 2020 alterou outros parâmetros no dimensionamento das saídas de emergência, como Coeficiente de densidade populacional para cálculo da lotação, Capacidade de passagem e Escadas em relação à altura e ocupação. No caso do projeto da FCEE, a quantidade e disposição das escadas esteve associada ao caminhamento máximo permitido, conforme registro do CBMSC. No entanto, observa-se que a IN 09 de 2014 exigia duas escadas protegidas para ocupação escolar em geral com altura entre 6 e 12m, enquanto a IN 09 de 2020 aceita, para ocupações do grupo E entre 6 e 12 metros, uma escada comum, com exceção de E5, para a qual exige uma escada protegida. Junto à aprovação do PPCI, no SIGAT, é destacado que a edificação deve possuir plano de emergência conforme IN 31.

Conforme pranchas disponíveis no Anexo B, o PPCI para o novo prédio da FCEE apresenta duas escadas protegidas e sete saídas de emergência no térreo. Além desses elementos de circulação para uso em caso de emergência, o prédio tem uma escada comum e três elevadores. A figura 7, com planta do térreo, indica as saídas e escadas de emergência.

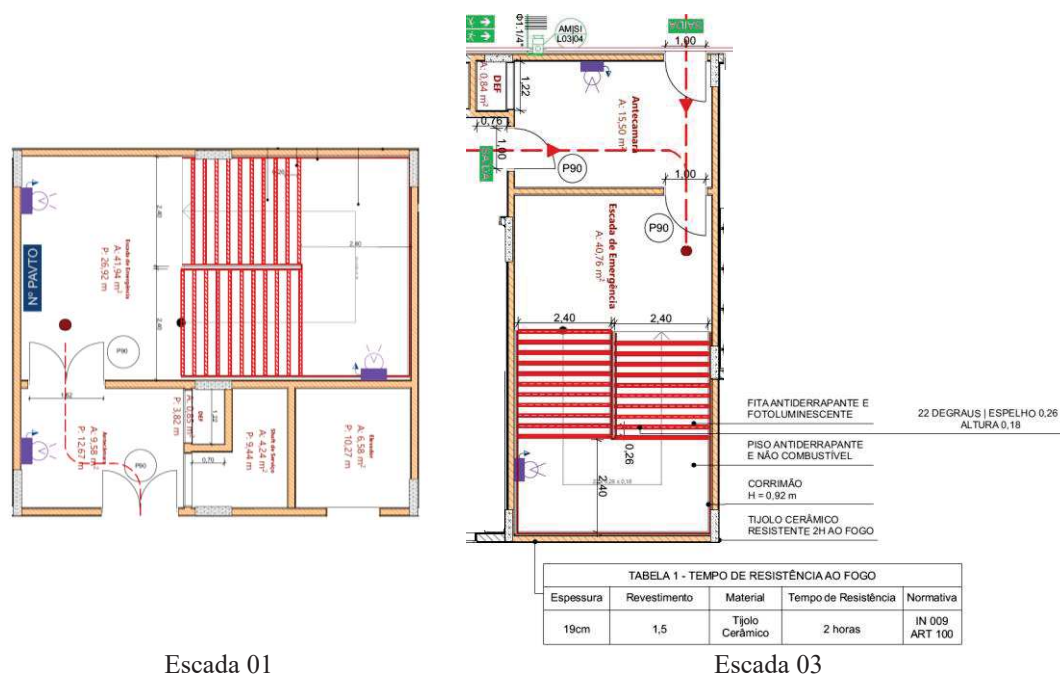
Figura 7 – Saídas e escadas de emergência do novo prédio da FCEE



Fonte: Edital SC SIE 0193-2021 (2021).

As duas escadas de emergência têm largura de 240cm, havendo diferença na largura da porta da Escada 01, com 160cm, e da Escada 03, com 100cm, sendo que a antecâmara da Escada 03 apresenta dois acessos. As antecâmaras são amplas, mas sem indicação de área de resgate. Os caminhamentos máximos indicados no PPCI são de até 30m nos pisos superior e intermediário. No piso térreo, onde há mais saídas disponíveis, o caminhamento máximo indicado é de 26,80m para uso da saída 05. A figura 8 ilustra as duas escadas de emergência.

Figura 8 – Escadas de emergência do novo prédio da FCEE



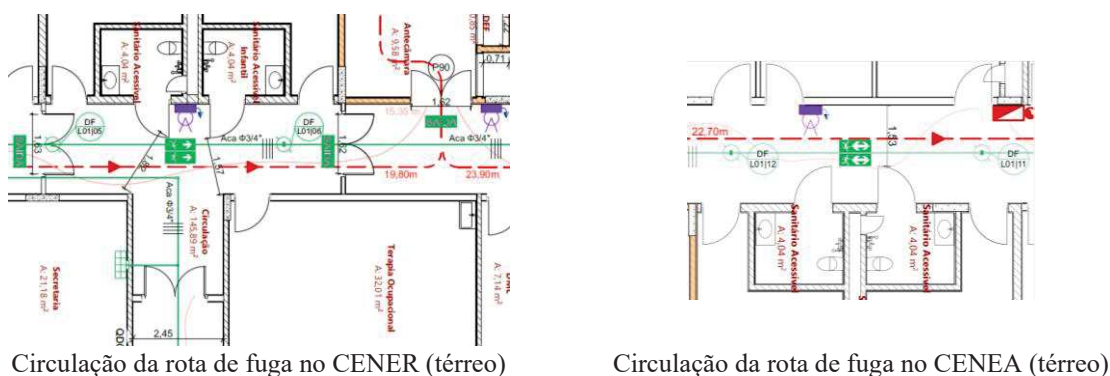
Escada 01

Escada 03

Fonte: Edital SC SIE 0193-2021 (2021)

Outro ponto observado em relação às rotas de fuga foram as portas de sanitário acessíveis abrindo para circulação e, com isso, reduzindo a largura da circulação e podendo causar acidente durante a evacuação. Em geral, a circulação dos centros tem largura de 245cm, sendo que, com abertura da porta do sanitário acessível, pode reduzir-se para 153cm. A figura 9 demonstra a redução dessa largura nos trechos de abertura das portas dos sanitários acessíveis.

Figura 9 – Áreas de circulação em rota de fuga no novo prédio da FCEE



Fonte: Edital SC SIE 0193-2021 (2021).

4.2.2 Inserção de dados do projeto no modelo simulador

As plantas em arquivo PDF, disponibilizadas no Edital SIE 0193-2021 foram importadas para o programa AutoCad para ajuste de escala e posteriormente importadas para o programa Pathfinder, onde foram geradas salas, portas e escadas para simulação de evacuação. Não foram representados os *shafts* nem os elevadores. Os Anexos A e B apresentam, respectivamente, as plantas do projeto de arquitetônico e do projeto preventivo da FCEE.

4.2.3 Definição das variáveis populacionais de entrada

Para avaliar o impacto das variáveis populacionais no estudo de caso, foram propostas variações em relação a Densidade e ao Tipo de ocupante. Relativamente à densidade, foram propostas três composições. Em relação ao Tipo de Ocupante, foram consideradas duas alternativas: a simulação com população padrão do *software* e a simulação com população composta por oito perfis. Nos tópicos a seguir, são descritos os arranjos simulados.

4.2.3.1 Densidade

Os projetos disponibilizados nos editais encontrados não indicaram a lotação prevista para a nova edificação, o que demandou que fosse feito o cálculo populacional conforme orientação da IN 09 do CBMSC.

A Tabela 6 do Anexo C da IN 09 CBMSC indica o Coeficiente de densidade populacional de 1 pessoa/1,5m² de sala de aula para ocupação E6 (Escola para pessoas com deficiências), mas, no caso da FCEE, muitos ambientes se assemelham a consultórios e são de atendimento individual. Em função deste diferencial, foi gerada uma composição populacional inicial cuja lotação resultou da análise de cada ambiente, centro por centro e pavimento por pavimento, considerando os usuários como funcionários, alunos/pacientes ou acompanhantes. A maioria dos ambientes (incluído as áreas de recepção) teve como densidade 1 pessoa/7m², equivalente ao coeficiente para Consultórios (H6) e para Serviço profissional (grupo D). Os ambientes de copas/refeitórios foram calculados como ocupação F8, com densidade 1 pessoa/m²; o ambiente da biblioteca foi calculado conforme ocupação F1, com 1 pessoa/3m²; e o ambiente do auditório foi calculado conforme ocupação F5 a partir do número de assentos apresentado. Alguns ambientes tiveram a população dimensionada a partir do *layout* apresentado em projeto, conforme permitido para o grupo E na Nota 7 da Tabela 6 do Anexo C

da IN 09 CBMSC: “Para o cálculo da população, será admitido o leiaute dos assentos permanentes apresentado em planta”. Deve ser ressaltado que o cálculo com base no *layout* resultou em menor densidade que o indicado para salas de aula. Outra variação de densidade proposta foi a consideração do Programa de Necessidades disponível no Edital TP 11/2019 para o ambiente de Piscina no CENER (mais relacionada a consultório, por compor a parte de reabilitação) e sala de Tecnologia do CETEP. Este cálculo inicial resultou em 704 ocupantes.

O cálculo populacional inicial exposto acima pode representar uma população subestimada. Portanto, foi gerada uma configuração de densidade populacional secundária utilizando os valores da Tabela 6 da IN 09 CBMSC: 1 pessoa/1,5m² de sala de aula para os ambientes educacionais tipo E6 e 1 pessoa/2m² de sala de aula para ambientes voltados a alunos com Altas Habilidades/Superdotação, considerados como E2 (Escola Especial). Os ambientes F8 também foram recalculados. A lotação resultante foi 1.042 ocupantes.

Uma terceira configuração de densidade populacional foi gerada para simular um caso extremo com alta densidade empregando o coeficiente 1 pessoa/1,5m² (E6) para a maioria dos ambientes. Salas consideradas como H6 passaram a ser consideradas como E6, e a área da piscina como E3. Esse cálculo resultou em 1.559 ocupantes.

As áreas de circulação, sanitários, depósitos e arquivos não foram computadas no cálculo da população em nenhum dos três arranjos. O Apêndice D apresenta a formação da composição das três configurações de densidade simuladas.

4.2.3.2 Presença de ocupantes com limitações funcionais

Para simular a presença de ocupantes com limitações funcionais que influem na evacuação, foram selecionados cinco tipos de ocupantes avaliados no tópico 4.1.2.1.2: Acompanhado; Lento; Lento Assistido; em Cadeira de Rodas; em Cadeira de Rodas Acompanhado. Além dos cinco perfis de ocupantes com limitação, para simular a assistência e a fuga assistida, foram empregados mais três perfis: Acompanhante, Brigadista e Cadeira de Transporte. O Apêndice E apresenta os dados inseridos no *software* para cada perfil simulado conforme as características apresentadas na calibragem das variáveis populacionais.

A partir das densidades consideradas e do programa de necessidades proposto para a FCEE, foram configuradas as disposições de perfis dos ocupantes para simulação. Foi prevista população fixa e população flutuante. Entre a população fixa, nas áreas administrativas e nas áreas técnicas, foi considerado 3% de PcD, conforme o que estabelece a Lei 8.213/1991 para estabelecimentos com 200 a 500 funcionários. Nestes casos, os perfis empregados foram:

ocupante Lento ou ocupante em Cadeira de Rodas, ambos com autonomia de deslocamento. Em cada ambiente de consultório e ambiente educacional foi considerada a presença de no mínimo um ocupante diferenciado. Conforme o centro, foi priorizado um tipo de ocupante: no CENER foram considerados os cinco perfis; no CENAE foram considerados os perfis Lento, Lento Acompanhado e PCR Acompanhado; no CAS apenas ocupante Acompanhado ou Lento Acompanhado; no CETEP os perfis Acompanhado, Lento e PCR; no NAAHS e no CAP, ocupantes Acompanhados e Lentos; e no CETEA apenas perfil Lento Acompanhado. Na biblioteca e no auditório, como ambientes de uso compartilhado, foram considerados os cinco tipos de ocupantes. Os ocupantes das áreas de recepção foram considerados todos como padrão.

Os Brigadistas foram quantificados conforme a IN 28 CBMSC e posicionados junto aos ambientes com maior densidade. É importante ser considerado esse perfil de ocupante, pois é responsável pelo manejo da cadeira de transporte, que necessita ser carregada por duas pessoas, sendo preferencialmente brigadista e aceito também o acompanhante específico responsável pelo PCR assistido a ser transportado. Foram consideradas duas equipes de Brigadistas, cada uma direcionada para uma escada de emergência, de forma a não haver o cruzamento pelas áreas de recepção. Nos cenários com 704 ocupantes, foram dispostos oito Brigadistas para a escada 01 e cinco Brigadistas para a escada 03; nos cenários com 1042 ocupantes, foram dispostos doze Brigadistas para a escada 01 e dez Brigadistas para a escada 03; nos cenários com 1559 ocupantes, foram dispostos dezessete Brigadistas para a escada 01 e nove brigadistas para a escada 03.

O Apêndice F apresenta a composição de perfil populacional para as três configurações de densidade estudadas para a FCEE. Nas configurações com 704 e com 1042 ocupantes, 27% dos ocupantes foram diferenciados: 10% Acompanhantes, 2% Brigadistas, 4% Acompanhados, 2% Lentos, 4% Lentos Acompanhados, 2% PCR e 2% PCR Acompanhados. Nas configurações com 1559 ocupantes, o percentual de ocupantes diferenciados aumentou para 29%, sendo redistribuídos para os perfis: 11% Acompanhantes, 3% Lentos, 5% Lentos Acompanhados e 3% PCR. Uma ressalva a ser apontada é que os ocupantes com cadeira de rodas localizados inicialmente nos andares intermediário e superior estão representados como Cadeira de Transporte, visto que tiveram que ter o perfil alterado para serem transportados nas escadas. A exceção deste registro foi feita para os modelos com rampa, em que as PCR puderam evacuar com autonomia, mantendo o perfil inicial: PCR Manual ou PCR Assistida.

4.2.4 Definição das variáveis arquitetônicas de entrada

Para simular o impacto das variáveis arquitetônicas aplicadas no estudo de caso, foram propostas três alterações arquitetônicas e foram realizadas simulações com e sem *layout* interno. Nos tópicos a seguir, são descritas as variações propostas.

4.2.4.1 Alterações arquitetônicas

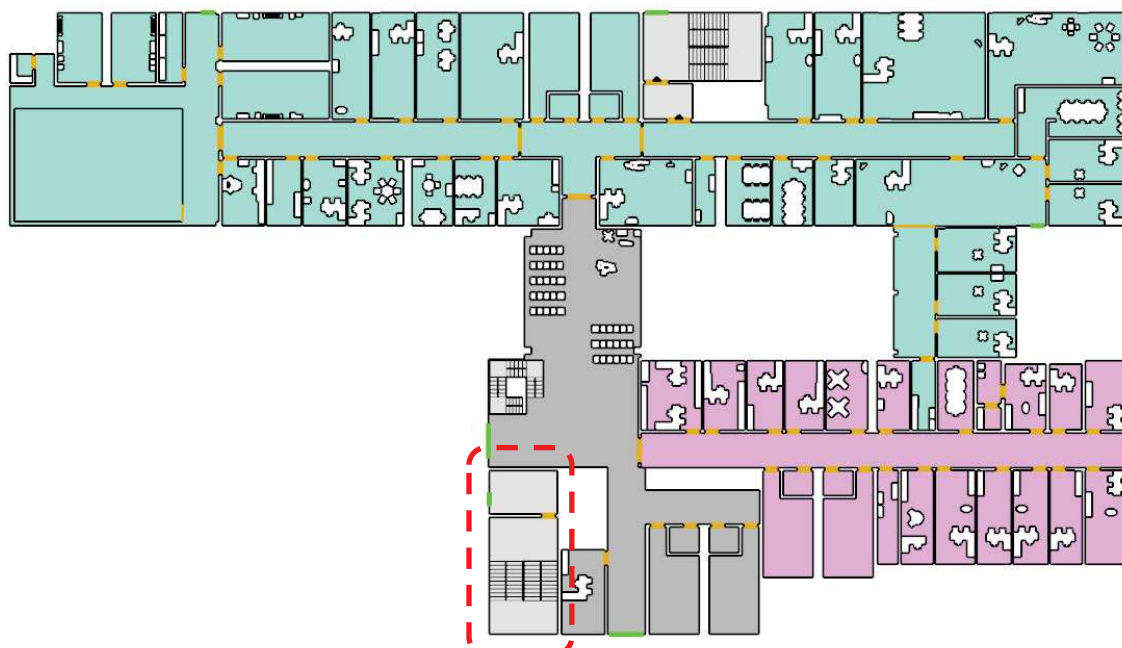
Foram simuladas três propostas de alteração arquitetônica de diferentes níveis de intervenção. Uma intervenção de menor impacto, que pode ser realizada mesmo após a construção e uso da edificação, foi a substituição das portas de antecâmaras da escada 03 de 100cm para 150cm de largura do vão livre, conforme figura 10. Uma intervenção a ser feita ainda em etapa de projeto, foi o deslocamento da escada 03, de forma que a descarga da mesma seja diretamente para a área externa, sem a necessidade de circular em área desprotegida do térreo, conforme figura 11. Como terceira intervenção, foi proposta a substituição da escada 01 por uma rampa, como forma de permitir maior autonomia de evacuação para pessoas como limitação de mobilidade, conforme figura 12. A alteração da descarga da escada 03 e a substituição da escada 01 por rampa tem como enfoque principal reduzir o tempo de chegada dos ocupantes até uma área de relativa segurança.

Figura 10 – Planta do térreo indicando ampliação das portas da antecâmara da escada 03



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 11 – Planta do térreo indicando alteração na descarga da escada 03 para acesso direto à área externa



Fonte: Elaborada pela autora..

Figura 12 – Sobreposição de plantas baixas indicando inserção de rampa externa para evacuação em substituição à escada 01



Fonte: Elaborada pela autora.

4.2.4.2 Layout

Foram realizadas simulações com e sem o *layout* proposto para o interior das salas, de forma a avaliar o impacto do mesmo no tempo de evacuação e na formação de congestionamentos e gargalos.

4.2.5 Definição dos cenários simulados

Para avaliar a influência do projeto arquitetônico nas áreas de circulação da nova edificação da FCEE, foram elaborados distintos cenários combinando densidade, tipo de ocupante, *layout* e alterações arquitetônicas. O quadro 28 apresenta as 36 combinações que foram simuladas.

Quadro 28 – Cenários simulados para FCEE

CENÁRIOS			Densidade		
			704	1042	1559
Original (A0)	Ocupantes Diversificados (P1)	Com layout (L1)	A0P1L1D1	A0P1L1D2	A0P1L1D3
		Sem layout (L0)	A0P1L0D1	A0P1L0D2	A0P1L0D3
	Ocupantes Padrão (P0)	Com layout (L1)	A0P0L1D1	A0P0L1D2	A0P0L1D3
Antecâmara escada 03 (A1)	Ocupantes Diversificados (P1)	Com layout (L1)	A1P1L1D1	A1P1L1D2	A1P1L1D3
		Sem layout (L0)	A1P1L0D1	A1P1L0D2	A1P1L0D3
	Ocupantes Padrão (P0)	Com layout (L1)	A1P0L1D1	A1P0L1D2	A1P0L1D3
Descarga escada 03 (A2)	Ocupantes Diversificados (P1)	Com layout (L1)	A2P1L1D1	A2P1L1D2	A2P1L1D3
		Sem layout (L0)	A2P1L0D1	A2P1L0D2	A2P1L0D3
	Ocupantes Padrão (P0)	Com layout (L1)	A2P0L1D1	A2P0L1D2	A2P0L1D3
Rampa externa (A3)	Ocupantes Diversificados (P1)	Com layout (L1)	A3P1L1D1	A3P1L1D2	A3P1L1D3
		Sem layout (L0)	A3P1L0D1	A3P1L0D2	A3P1L0D3
	Ocupantes Padrão (P0)	Com layout (L1)	A3P0L1D1	A3P0L1D2	A3P0L1D3

Fonte: Elaborado pela autora.

Todas as simulações consideraram o uso da rota de fuga indicada no PPCI, o que significa a restrição ao uso da escada 02 (escada comum) e o direcionamento dos ocupantes para a escada 01 ou para a escada 03, de forma a não cruzarem as áreas de recepção.

4.2.6 Definição dos critérios para análise

A qualidade do projeto de rotas de fuga está diretamente ligada à segurança dos ocupantes das edificações. Em uma evacuação emergencial, a segurança depende diretamente

do ASET e do RSET. Nesta pesquisa, cujo foco é a influência da arquitetura através do projeto das áreas de circulação e acesso, o tempo de deslocamento, que é um dos componentes do RSET, foi o principal critério de avaliação. Quanto menor o tempo de deslocamento, melhor é considerado o projeto da rota de fuga.

Considerando que as normas brasileiras prescritivas se baseiam em capacidade das unidades de passagem e distância máxima a ser percorrida até as saídas de emergência, a referência para as simulações analisadas foi o tempo total máximo de dois minutos e meio (150 segundos), indicado na regulamentação britânica (NBS BUILDING REGULATIONS, 2006) para que qualquer pessoa localizada no interior de um edifício atinja um local seguro. Além desta referência, os 36 cenários simulados foram comparados entre si tendo como base o cenário A0P1L1D1, que representa a planta do projeto original com *layout* e densidade de 704 ocupantes, incluindo pessoas com limitações funcionais.

Foram comparados os tempos totais de deslocamento de todos os ocupantes, por perfil de ocupante, por saída de emergência e por escadas. Também foram avaliados a distância máxima percorrida, o tempo até os ocupantes atingirem área de relativa segurança (antecâmaras) e a situação dos ocupantes no instante de 150 segundos do início da evacuação, para comparação com a exigência da NBS 2006.

O capítulo 5 a seguir apresenta os resultados e análises das simulações para o estudo de caso da FCEE.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo é apresentada a terceira etapa da pesquisa, que se constitui na avaliação das simulações propostas. Os resultados foram sintetizados em tabelas e gráficos indicando tempo de deslocamento e distância percorrida. De forma complementar, para melhor compreensão da dinâmica de movimento e dos pontos de congestionamento, foram registradas cenas em planta das simulações aos 150 segundos a partir do início da movimentação. Foram avaliados seis aspectos: tempo total de deslocamento de todos os ocupantes; distância máxima percorrida; tempos totais de deslocamento conforme perfil de ocupante; tempos totais de deslocamento conforme saída de emergência localizada no térreo; tempos totais de deslocamento conforme escada de emergência e tempo de deslocamento até área de relativa segurança.

A seguir, são descritas as análises para o projeto original, as análises para cada proposta e a comparação entre todas as simulações. Dados complementares são apresentados nas tabelas do apêndice G e nas imagens do apêndice H.

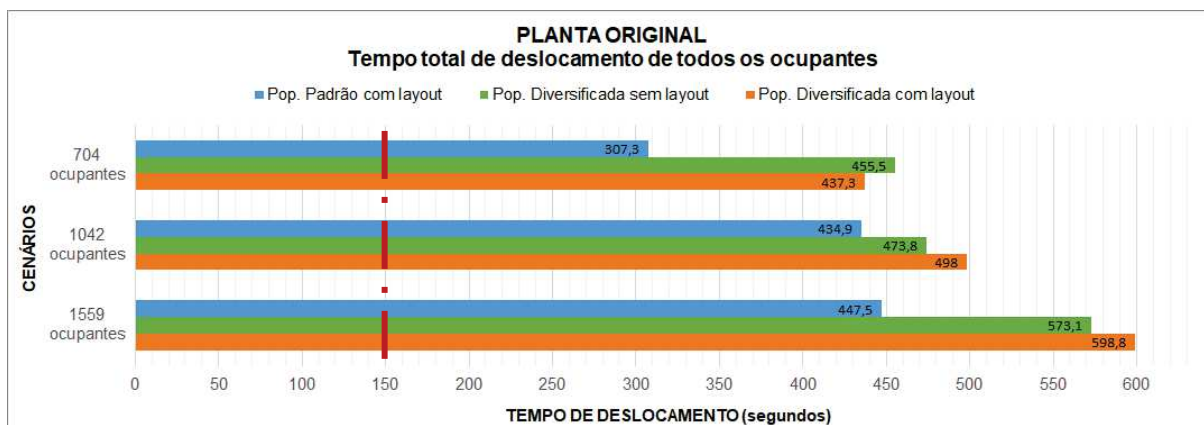
5.1 PLANTA ORIGINAL

Para avaliar o impacto das variáveis propostas para simulação considerando o projeto de novo prédio da FCEE, as análises iniciais concentraram-se nos nove modelos com a planta original e variaram em relação a *layout*, presença de ocupantes com limitação funcional e densidade. Foram avaliados os cenários A0P1L1D1, A0P1L0D1, A0P0L0D1, A0P1L1D2, A0P1L0D2, A0P0L0D2, A0P1L1D3, A0P1L0D3 e A0P0L0D3, estabelecidos no quadro Quadro 28. A seguir são descritos e avaliados os resultados considerando a planta original. Dados tabelados contam no apêndice G.

5.1.1 Tempo total de deslocamento de todos os ocupantes

Os nove cenários simulados com a planta original apresentaram tempo total de deslocamento superior aos 150 segundos estabelecidos pela NBS 2006, conforme pode ser visto no gráfico 20, a seguir, e na tabela U do apêndice G.

Gráfico 20 – Tempos totais de deslocamento de todos os ocupantes, com planta original da FCEE



Fonte: Elaborado pela autora.

Em relação à variável Densidade, observa-se que, em todos os casos, o aumento da densidade ampliou o tempo de deslocamento. Nos casos com população padrão o aumento de tempo do cenário com 704 ocupantes para o cenário com 1042 ocupantes foi superior a 40%. Mas, se comparado este aumento ao que ocorreu de 1042 para 1559, ele foi pouco significativo, inferior a 5%. Nos casos com presença de ocupantes com limitação funcional, o aumento de tempo foi maior ao se aumentar a população de 1042 para 1559 ocupantes do que ao aumentar de 704 para 1042.

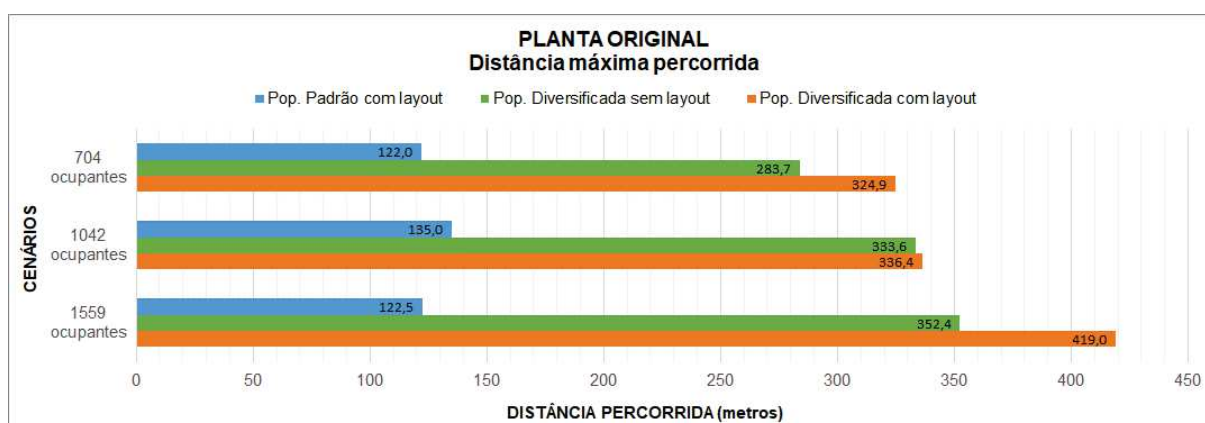
No que se refere ao impacto da presença de ocupantes com limitação funcional, o gráfico aponta que, independentemente da densidade, nos cenários com população padrão o tempo é reduzido em mais de 10% em relação aos cenários com população diversificada. Nos casos com 704 ocupantes, a redução foi mais significativa, atingindo 30%, enquanto que, nos casos com 1559 ocupantes, reduziu 25%.

Não foi possível avaliar o impacto do *layout* com base nestes cenários, porque, na menor densidade, a ausência de *layout* aumentou o tempo de deslocamento e, nas outras densidades, reduziu o tempo. Em todos os casos, a variação foi inferior a 5%. Vale destacar que, ao rodar pela primeira vez um modelo com *layout*, alguns ocupantes ficaram presos devido à geometria estreita entre os itens de mobiliário, que não permitiu a passagem. Para sanar este problema, os ocupantes que ficaram presos foram remanejados dentro de cada uma das salas e, em alguns casos, foi desconsiderada a área de cadeiras para permitir a passagem. Outra ressalva é que o *layout* em questão está no interior das salas, não nas áreas de circulação, que são o foco principal desta dissertação.

5.1.2 Distância máxima percorrida

De forma complementar à análise do tempo total de deslocamento para evacuação, foram obtidas as distâncias máximas de deslocamento para os nove cenários com planta original da FCEE. O gráfico 21 ilustra os resultados encontrados, nos quais as distâncias encontradas variaram entre 122 e 419 metros.

Gráfico 21 – Distância máxima percorrida com planta original da FCEE



Fonte: Elaborado pela autora.

O gráfico 21 destaca a diferença significativa na distância máxima percorrida entre os cenários com presença de ocupantes com limitações funcionais e os cenários apenas com população padrão. As maiores distâncias encontradas nos cenários com população diversificada resultam dos trajetos feitos por Brigadistas que, em função do quantitativo disponível, necessitam ir ao encontro dos ocupantes a serem transportados, deslocar o ocupante transportado e retornar para auxiliar outros ocupantes.

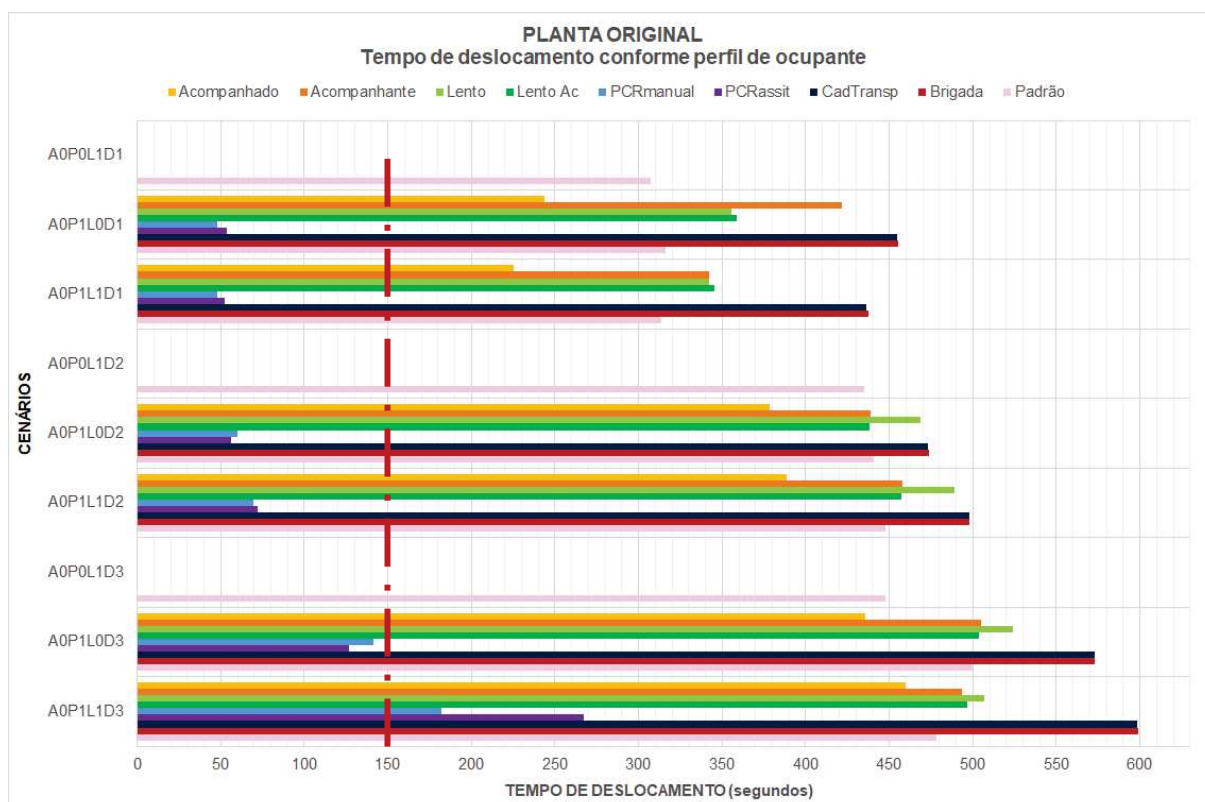
Em relação à variável Densidade, observou-se que, nos casos com presença de ocupantes com limitação funcional, houve aumento na distância máxima percorrida ao aumentar a densidade. Nos cenários com população padrão, a distância percorrida foi similar nas lotações com 704 e com 1559 ocupantes, sendo que, no caso com 1042 ocupantes, o aumento da distância foi pequeno.

A respeito da presença de *layout*, observou-se que, nos cenários com 704 e com 1559 ocupantes, houve redução da distância ao se desconsiderar o *layout*, o que pode justificar-se pelo fato de os ocupantes não precisarem realizar desvios no interior das salas. No entanto, quando a lotação foi de 1042 ocupantes, a diferença do *layout* pouco impactou na distância percorrida.

5.1.3 Tempos totais de deslocamento conforme perfil de ocupante

Para melhor avaliar o impacto dos tipos de ocupantes propostos na simulação com projeto da FCEE, foi sistematizado o tempo total de deslocamento conforme o perfil de ocupante. O resultado dessa simulação pode ser visto no gráfico 22 e nos dados da tabela W do apêndice G.

Gráfico 22 – Tempos totais de deslocamento conforme perfil de ocupante, com planta original da FCEE



Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados apontam que os únicos perfis com tempo total de deslocamento dentro do limite da NB2006 referem-se a PCR manual e PCR assistida, visto que estes contemplam apenas a evacuação horizontal no térreo. A exceção é o cenário A0P1L1D3 que, como pode ser visto na figura Y do apêndice H, apresenta três ocupantes do térreo em cadeira de rodas, aos 150 segundos, ainda tentando sair pela descarga da escada 01. O tempo resultou superior ao limite para o abandono do edifício, mas os ocupantes atingiram uma área segura (antecâmara e escada protegida) antes dos 150 segundos. É interessante observar que, para estes dois perfis, ao se aumentar a lotação de 704 para 1042 ocupantes, o aumento do tempo de deslocamento foi

pouco representativo. Porém, ao passar para 1559 ocupantes, o aumento do tempo foi significativo, em proporção maior que ao aumento da população.

Os maiores valores de tempos de deslocamento foram encontrados para os perfis Brigadistas e Cadeira de Transporte, visto que demandam tempo de espera, preparo e retorno de Brigadista. É preciso ponderar a disponibilidade de Brigadistas em relação ao quantitativo e ao posicionamento de ocupantes que necessitam ser transportados pelas escadas. Para esta pesquisa, ao posicionar os Brigadistas pelo critério de ambientes com maior densidade, não foi considerado que os ocupantes que necessitam ser transportados podem estar em ambientes mais distantes, até mesmo em andares distintos dos Brigadistas. O posicionamento inicial dos Brigadistas impacta no tempo total, em função do deslocamento necessário até o ocupante a ser auxiliado. Nesta pesquisa, ao simular a divisão de duas equipes de Brigadistas dispostas conforme a escada de emergência a ser empregada, apesar de os Brigadistas do térreo auxiliarem os outros andares, o resultado da disposição das equipes não acompanhou o número de ocupantes que necessitaram transporte: Nos cenários com 704 ocupantes, a equipe da escada 01 foi composta por oito Brigadistas e necessitou transportar cinco PCR Manual, enquanto a equipe da escada 03 foi composta por cinco Brigadistas e demandou o transporte de sete PCR (duas Acompanhadas); nos cenários com 1042 ocupantes, a equipe da escada 01, composta por doze Brigadistas, necessitou transportar dez PCR (quatro Acompanhadas), enquanto a equipe da escada 03, formada por dez Brigadistas demandou o transporte de 10 PCR (duas Acompanhadas); nos cenários com 1559 ocupantes, a equipe da escada 01, composta por dezessete Brigadistas, necessitou transportar dezesseis PCR (seis Acompanhadas), enquanto a equipe da escada 03, formada por nove Brigadistas, demandou o transporte de dez PCR (duas Acompanhadas). Considerado que a opção de transporte simulado foi via cadeira de evacuação, que necessita dois operadores, tanto o posicionamento quanto o quantitativo de Brigadistas disponíveis podem ser readequados para reduzir o tempo total de deslocamento destes perfis. Para reequilíbrio das equipes de Brigadistas, visando à redução do tempo de deslocamento, é fundamental que sejam conhecidos os locais onde os ocupantes a serem transportados possam estar localizados inicialmente. Outra alternativa para reduzir o tempo, é simular a troca do equipamento de transporte por outro que necessite apenas um operador. Como o foco desta pesquisa foi a influência da arquitetura, estes ajustes não foram simulados.

Outros perfis que apresentaram resultados de tempo elevado foram: Lento e Lento Acompanhado junto ao Acompanhante correspondente. Este resultado corresponde a velocidade reduzida dos ocupantes Lentos e, no caso dos Lentos Acompanhados, soma-se o tempo inicial para encontro entre Acompanhante e Acompanhado. Conforme aumenta a

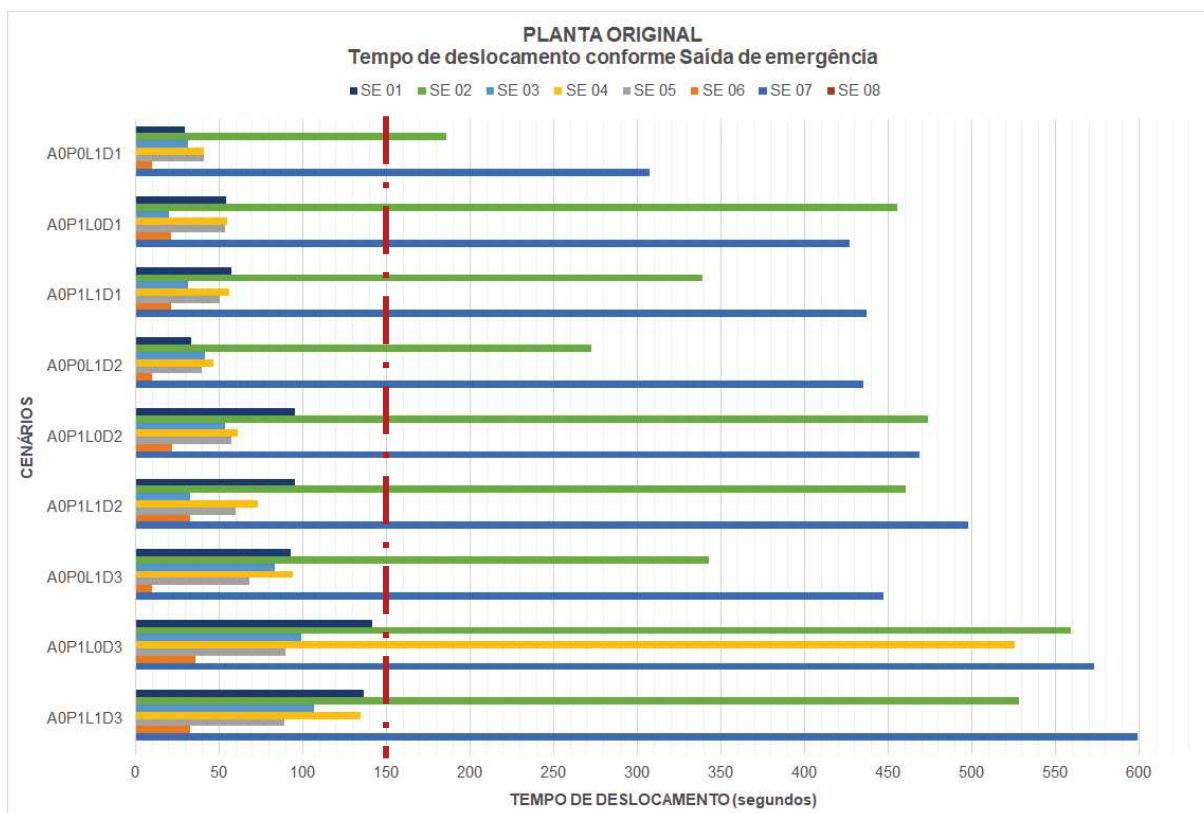
densidade, os valores de tempo destes perfis também aumentam, sendo que, nos casos com 1042 e com 1559 ocupantes, o perfil Lento teve maior tempo em relação ao Lento Acompanhado. No cenário A0P1L0D1, o tempo maior para o perfil Acompanhante resulta da espera junto a PCR por auxílio de Brigadista na escada 03 do piso superior para poderem evacuar em conjunto.

Com relação à presença de *layout* no interior das salas, os resultados foram variados e, para estes cenários, não foi possível inferir sobre seu impacto nas rotas de fuga para diferentes perfis. Nos cenários com 704 ocupantes, o tempo foi reduzido com a presença de *layout*, exceto para o perfil PCR. Nos cenários com 1042 ocupantes e sem *layout*, todos os perfis reduziram o tempo de deslocamento. Nos cenários com 1559 ocupantes, cinco perfis reduziram o tempo ao desconsiderar o *layout* e quatro perfis reduziram o tempo ao considerar o *layout*.

5.1.4 Tempos de deslocamento conforme saída de emergência localizada no pavimento térreo

Complementando as análises, o gráfico 23 apresenta os tempos totais de deslocamento para cada uma das saídas de emergência localizadas no pavimento térreo. Dados complementares constam na tabela X do apêndice G.

Gráfico 23 – Tempos totais de deslocamento conforme porta de saída de emergência, com planta original da FCEE



Fonte: Elaborado pela autora.

O gráfico 23 demonstra que as saídas 02 e 07 são as que apresentam maiores tempos total de deslocamento, sendo estes superiores aos 150 segundos da NBS 2006, visto que estas saídas contemplam maior número de ocupantes pelo fato de que os ocupantes localizados no pavimento intermediário e no pavimento superior têm como destino a saída 02 ao usar a escada 01 e a saída 07 ao usar a escada 03. Associando os dados de tempo total a cenas da planta do térreo aos 150 segundos da simulação, observa-se que os ocupantes lotados inicialmente no piso térreo, mesmo com limitações funcionais e em distintas densidades, evacuaram dentro do estabelecido na NBS 2006, em função do maior número e posicionamento de saídas disponíveis. O tempo total de deslocamento empregando as saídas 01, 03, 04, 05 e 06 manteve-se estável, e o uso dessas cinco saídas, em sua maioria, refere-se a ocupantes localizados inicialmente o térreo.

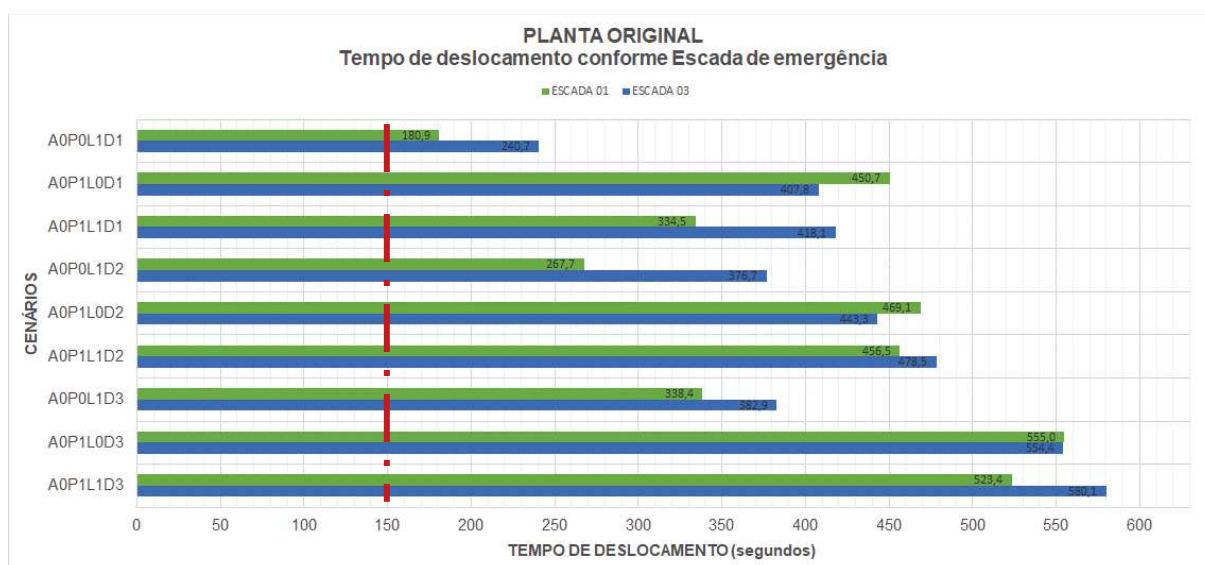
O cenário A0P1L0D3 apresentou tempo elevado para a saída 04, ultrapassando os 150 segundos. Isso decorreu de Brigadistas, após auxiliarem no transporte, optarem pela saída 04, em vez da saída 02. Esta escolha por usar a saída 04 expõe o ocupante a transitar no térreo por área não protegida e pode ser considerado um desvio na simulação, a ser corrigido

direcionando cada equipe de Brigadistas para a saída correspondente à escada pela qual se deslocaram. Ou também pode ser considerado que o Brigadista optou por outra saída para verificar a presença de ocupantes antes de evacuar. Em função do risco de exposição ao incêndio após terem decorrido os 150 segundos recomendados, considera-se que a simulação deva ser corrigida, porque, sendo o Brigadista um ocupante treinado, a verificação por ocupantes que permaneçam no pavimento deve ser feita no início da evacuação e não no final.

5.1.5 Tempos de deslocamento conforme escada de emergência

Considerando o alto percentual de ocupantes que utilizam escada para evacuação, para melhor compreender a rota de fuga vertical e o uso das escadas de emergência, foram avaliados os tempos totais de deslocamento para cada escada. Em todas as configurações populacionais e de densidade, a escada 01 teve maior uso que a escada 03. Nos cenários com 704 ocupantes, 74% utilizaram escadas, sendo que 285 usaram a escada 01 e 236 a escada 03. Nas simulações com 1042 ocupantes, 78% usaram escada, sendo 463 que utilizaram a escada 01 e 351 a escada 03. Nos casos com 1559 ocupantes, 60% utilizaram escada, sendo que 573 usaram a escada 01 e 366 a escada 03. O gráfico 25 demonstra os tempos totais de deslocamento conforme escada de emergência, e dados complementares constam na tabela Y do apêndice G.

Gráfico 24 – Tempos totais de deslocamento conforme escada de emergência, com planta original da FCEE



Fonte: Elaborado pela autora.

A análise dos resultados do gráfico 24 mostra que os tempos totais de deslocamento dos ocupantes que utilizam as escadas de emergência são todos superiores ao limite da NBS 2006, o que reforça a necessidade de os elementos verticais de rota de fuga serem protegidos ou externos para afastar a propagação de fogo e fumaça durante a evacuação.

O impacto do aumento da densidade refletiu na ampliação do tempo de deslocamento em todos os cenários. Nos casos com população diferenciada e sem *layout*, observou-se que o impacto foi maior ao passar de 1042 para 1559 ocupantes do que ao mudar de 704 para 1042 ocupantes. Nos cenários com população padrão, o tempo variou menos para a escada 03 ao se ampliar a lotação de 1042 para 1559.

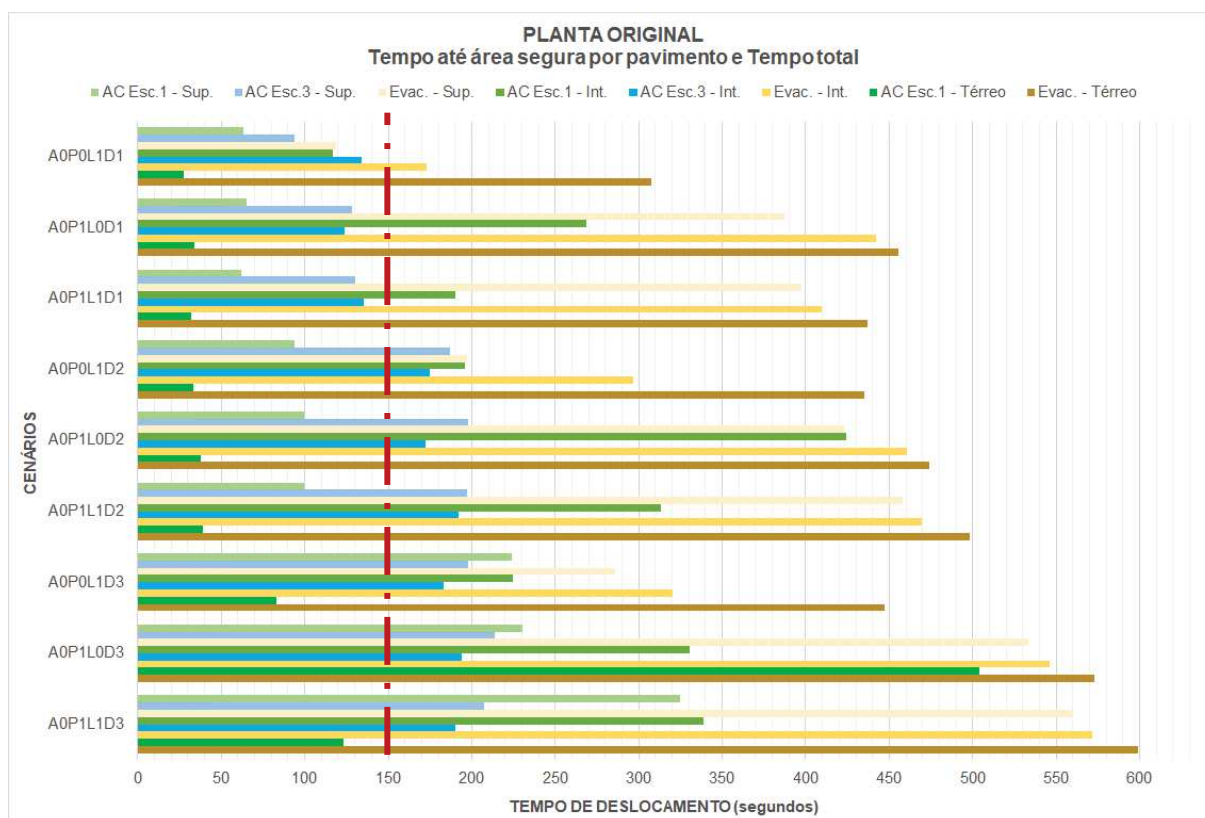
Em relação ao *layout*, observa-se impacto distinto do tempo entre as escadas. A presença do layout reduziu o tempo de deslocamento para a escada 01 e ampliou o tempo para a escada 03. Apesar de a escada 01 ter maior uso que a escada 03, nos modelos com *layout*, os valores mais elevados se referem a escada 03. Nos modelos sem *layout*, os valores entre escadas são mais próximos, e a escada 01 apresenta maior tempo total de deslocamento.

A presença de ocupantes com limitações funcionais resultou em valores mais elevados em todos os cenários, sendo importante destacar a quantidade de ocupantes diferenciados que utilizam cada escada, segundo apresentado na análise dos tempos totais de deslocamento conforme perfil de ocupante e na composição dos perfis populacionais do Apêndice F.

5.1.6 Tempos de deslocamento até a área de relativa segurança

Considerando os tempos prolongados para evacuação total e a existência de escada protegida na edificação, foram avaliados os tempos resultantes, por pavimento, até os ocupantes atingirem uma área de relativa segurança, como as antecâmaras e escadas de emergência. O resultado destes tempos foi sintetizado no gráfico 25 e constam na tabela Z do apêndice G.

Gráfico 25 – Tempos de deslocamento até área de relativa segurança, com planta original da FCEE



Fonte: Elaborado pela autora.

O gráfico 25 aponta trechos com tempo dentro do limite de 150 segundos, o que favorece a segurança dos ocupantes. No gráfico, fica evidente a diferença entre o tempo de evacuação do andar e o tempo até a área segura, sendo que o tempo de evacuação do andar é elevado, pois considera a espera, o preparo e o início do transporte de PCR através de cadeira de evacuação.

O tempo máximo registrado até as antecâmaras do pavimento superior foi inferior a 150 segundo nos cenários com 704 ocupantes. Nas simulações com 1042 ocupantes, o tempo referente à escada 01 está dentro do limite da NBS 2006, e o referente à escada 03 chega próximo de 200 segundos. Nos casos com 1559 ocupantes, o tempo varia entre 198 segundos a 325 segundos. O tempo até as antecâmaras no piso intermediário é um pouco mais elevado, em função do acúmulo de fluxo do pavimento superior, estando dentro dos limites da NBS 2006 apenas em alguns casos com 704 ocupantes. No geral, o tempo até a área segura no pavimento intermediário varia entre 116 e 269 segundos para casos com 704 ocupantes, entre 172 e 424 segundos para cenários com 1042 ocupantes e entre 183 e 338 segundos para simulações com 1559 ocupantes. Em relação ao térreo, considerando que o uso da escada 03 implica passar por área desprotegida no térreo até atingir a porta de descarga do prédio, foi analisado o tempo

apenas em relação à antecâmara da escada 01, que se manteve no limite dos 150 segundos, com exceção do cenário A0P1L0D3, que, como descrito no item 5.1.4, apresentou tempo elevado decorrente de Brigadistas que utilizaram a saída 04 após auxiliarem no transporte.

No que se refere à presença de ocupantes com limitações funcionais, os menores tempos foram obtidos nas simulações apenas com ocupantes padrão. É interessante pontuar a diferença de tempo entre o acesso às antecâmaras e o tempo de evacuação do piso nos casos com população diferenciada, em comparação com cenários de população padrão, pois o tempo de espera no interior das antecâmaras por auxílio para transporte de ocupantes, na maioria dos casos, resulta em tempo de evacuação do piso superando o dobro do tempo para acesso a antecâmaras. Nos cenários com população padrão, em que não há necessidade de espera por auxílio, o tempo de evacuação do piso se aproxima do tempo de evacuação do andar, sendo em geral ampliado por congestionamento.

Em relação à Densidade, observa-se que o tempo foi ampliado conforme o número de ocupantes foi expandido. No que se refere à presença de *layout*, não foi possível avaliar o impacto dessa variável, pois houve casos em que a presença do *layout* ampliou significativamente o tempo (acesso à antecâmara de escada 01 no piso superior entre os cenários com 1559 ocupantes), simulações em que a presença de *layout* reduziu significativamente o tempo (acesso à antecâmara de escada 01 no piso intermediários entre para os cenários com 704 e 1042 ocupantes) e casos em que o *layout* praticamente não alterou o tempo (acesso a antecâmaras no piso superior nos cenários com 1042 ocupantes).

5.2 AMPLIAÇÃO DAS PORTAS DA ANTECÂMARA DA ESCADA 03

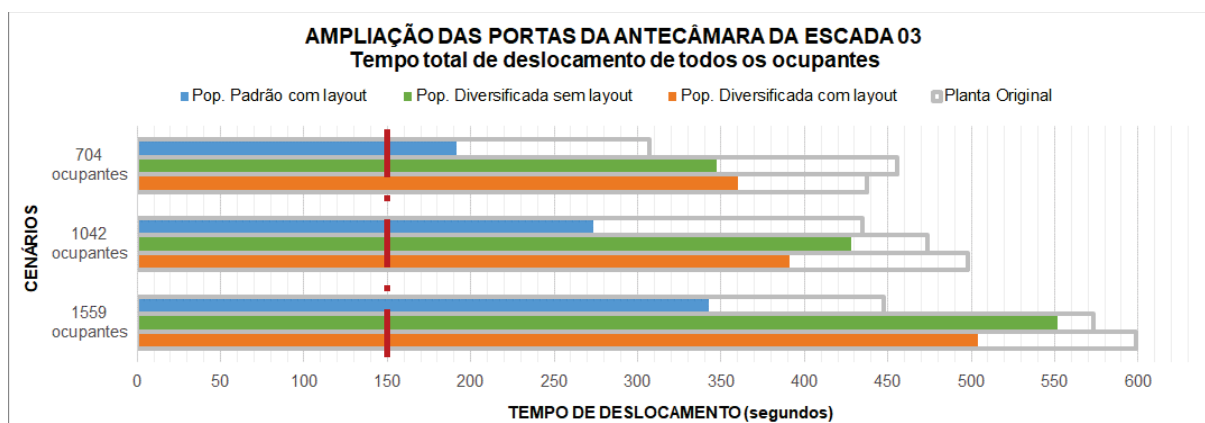
Para avaliar o impacto de variações arquitetônicas no projeto de novo prédio da FCEE, foi simulada a substituição das portas de acesso à antecâmara da escada 03 de 100cm para 150cm de largura do vão livre. Foram analisados os cenários A1P1L1D1, A1P1L0D1, A1P0L0D1, A1P1L1D2, A1P1L0D2, A1P0L0D2, A1P1L1D3, A1P1L0D3 e A1P0L0D3. A seguir são descritos e avaliados os resultados considerando esta alteração e é feito comparativo com os resultados da planta original. Dados tabelados contam no apêndice G.

5.2.1 Tempo total de deslocamento de todos os ocupantes

As simulações com a proposta de ampliação das portas da antecâmara da escada 03 geraram como resultado, em relação ao tempo total de deslocamento, os dados da tabela U do

apêndice G e o gráfico 26, a seguir, comparando a proposta de ampliação das portas da antecâmara da escada 03 com o projeto original.

Gráfico 26 – Tempos totais de deslocamento de todos os ocupantes, com ampliação das portas da antecâmara da escada 03



Fonte: Elaborado pela autora.

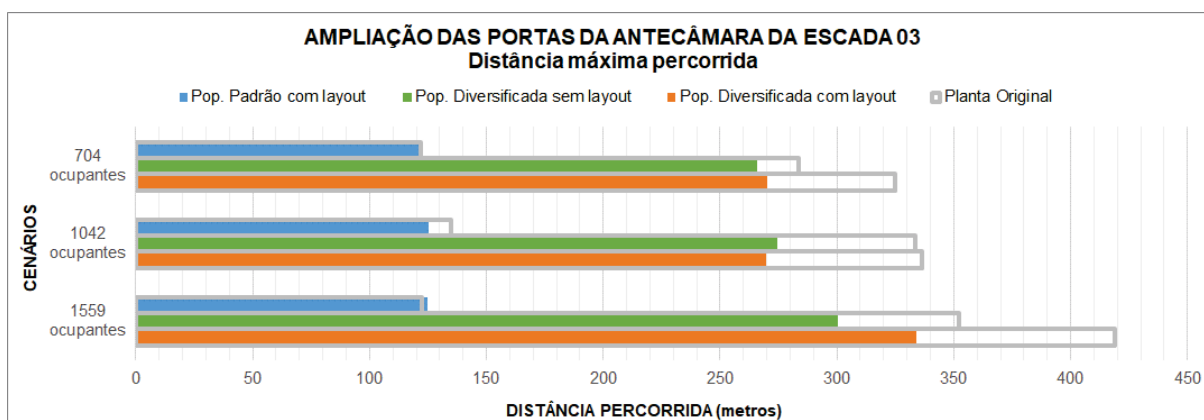
O gráfico 26 aponta que, mesmo apresentado valores superiores a 150 segundos, a ampliação das portas reduziu o tempo total de deslocamento para todos os cenários, visto que portas mais estreitas geraram aglomeração. As reduções de tempo foram mais significativas nos cenários com população padrão e nos cenários com menor densidade. O cenário com 1042 ocupantes padrão, na proposta de ampliação das portas, apresentou tempo inferior aos cenários com 704 ocupantes diversificados no projeto original.

A variável Densidade permaneceu diretamente proporcional ao tempo de deslocamento, assim como a presença de ocupantes com limitações funcionais resultou maiores tempos de deslocamento que os casos apenas com população padrão. Nos cenários com 704 ocupantes, a diversificação dos ocupantes incrementou em 47% o tempo de deslocamento. Em relação à presença de *layout* no interior das salas, observou-se que, nos cenários com 704 ocupantes, a diferença entre os tempos foi menor e a presença do *layout* ampliou o tempo. Nos cenários com 1042 e 1559 ocupantes, a diferença entre os tempos foi maior e os ocupantes foram mais rápidos nos casos com *layout*.

5.2.2 Distância máxima percorrida

Para complementar a análise do tempo total de deslocamento para evacuação, foram avaliadas as distâncias máximas de deslocamento para comparação com o projeto original, conforme indica o gráfico 27 e os dados da tabela V do apêndice G.

Gráfico 27 – Distância máxima percorrida, com ampliação das portas da antecâmara da escada 03.



Fonte: Elaborado pela autora.

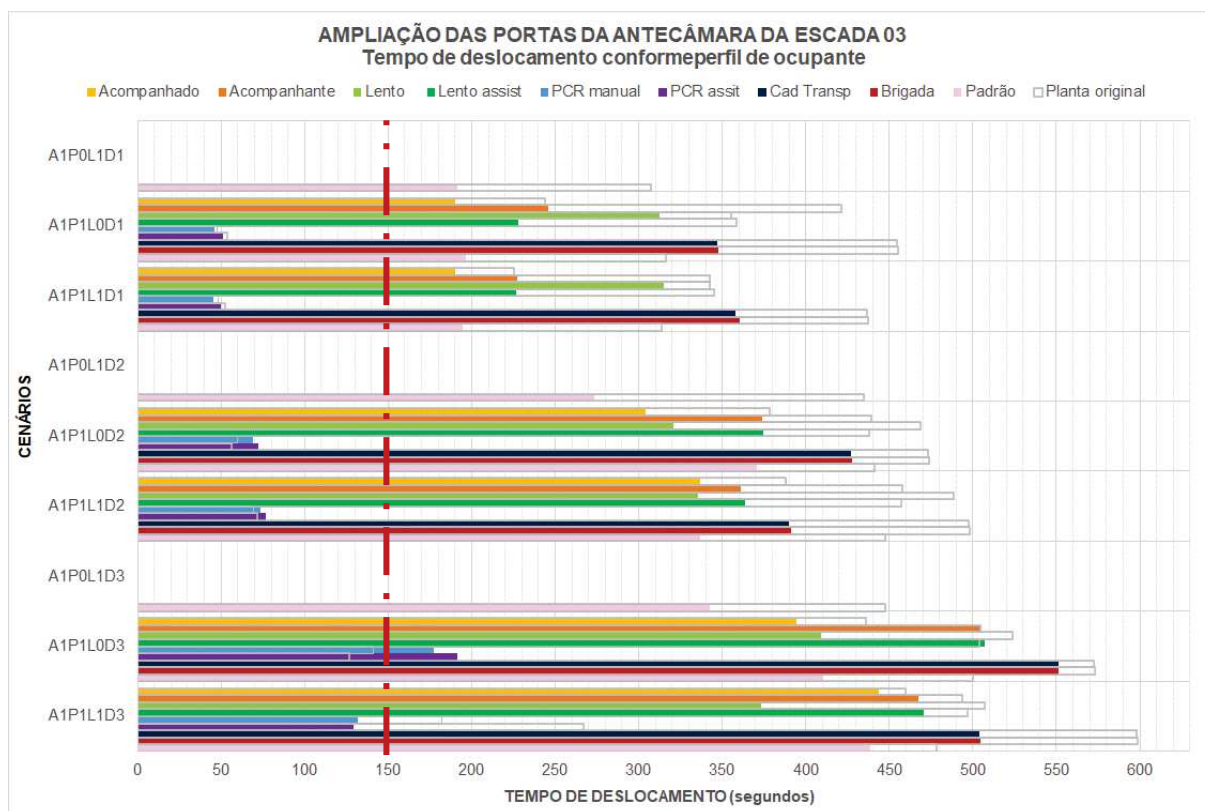
Em comparação com o projeto original, os cenários com população padrão apresentaram pouca variação na distância percorrida, e as simulações com presença de ocupantes com limitações funcionais tiveram redução no trajeto percorrido.

Nesta proposta de alteração arquitetônica, as variáveis Densidade e *Layout* apresentaram pouco impacto nas distâncias, sendo a maior variação no caso A1P1L1D3.

5.2.3 Tempos totais de deslocamento conforme perfil de ocupante

Para avaliar o impacto da ampliação das portas das antecâmaras da escada 03 conforme o tipo de ocupante, foi gerado o gráfico 28 a partir dos dados da tabela W do apêndice G.

Gráfico 28 – Tempos totais de deslocamento conforme perfil de ocupante, com ampliação das portas da antecâmara da escada 03



Fonte: Elaborado pela autora.

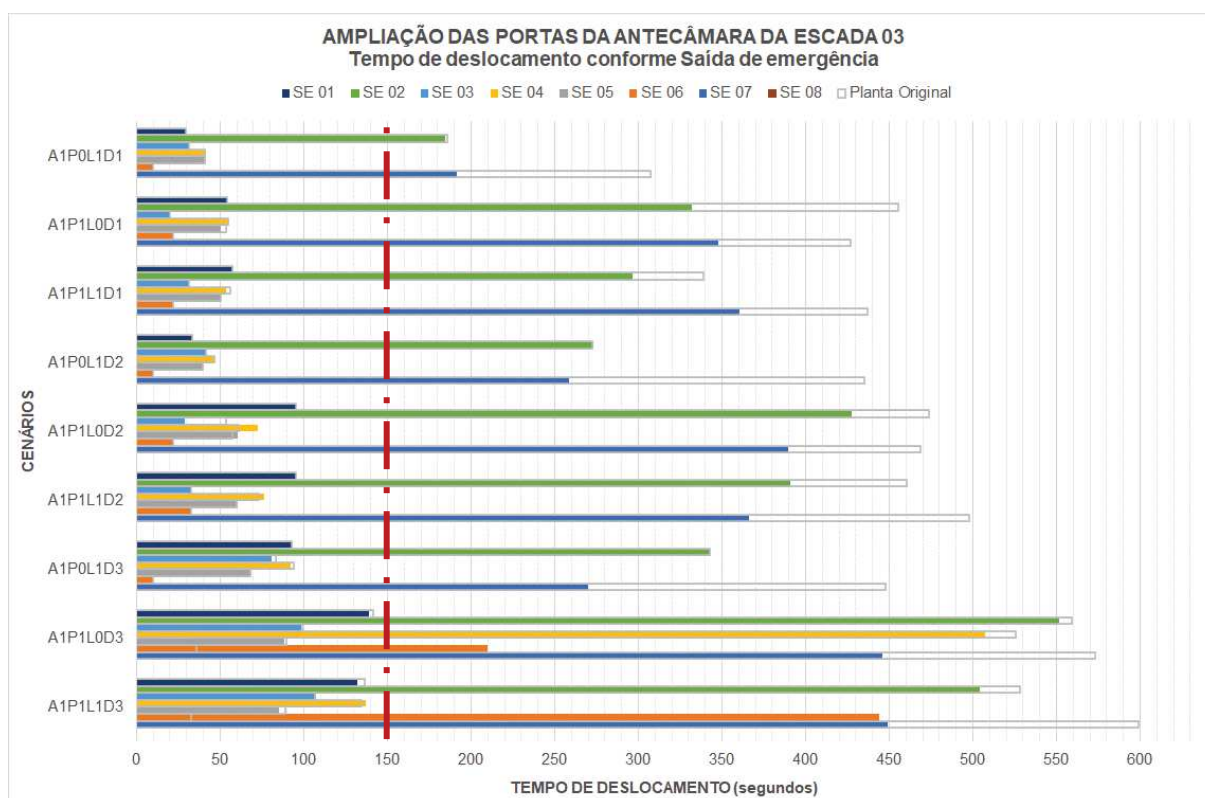
Na maioria dos perfis, em comparação com o projeto original, houve redução no tempo total de deslocamento do último ocupante a evacuar, com decréscimos de 4% a 52%, conforme perfil de ocupante e densidade. Os dois perfis PCR, no entanto, tiveram menor redução de tempo, visto que se referem apenas a ocupantes no térreo, e ampliaram o tempo de deslocamento nos cenários com 1042 ocupantes e na simulação A1P1L0D3. No cenário A1P1L0D3, o perfil Acompanhante manteve o tempo, o perfil Lento Assistido ampliou o tempo, e os dois perfis PCR aumentaram o tempo de forma mais significativa, superando o limite de 150 segundos.

O aumento de densidade, assim como a presença de ocupantes com limitações funcionais, foi acompanhado pela ampliação do tempo para todos os cenários. Em relação a presença de *layout* no interior das salas, o impacto foi variado tanto para manutenção, como para ampliação ou redução do tempo de deslocamento, sendo mais perceptível com maior densidade.

5.2.4 Tempos de deslocamento conforme saída de emergência localizada no pavimento térreo

Complementando as análises comparativas, o gráfico 29 apresenta os tempos totais de deslocamento para cada uma das saídas de emergência localizadas no pavimento térreo. Dados complementares constam na tabela X do apêndice G.

Gráfico 29 – Tempos totais de deslocamento conforme porta de saída de emergência, com ampliação das portas da antecâmara da escada 03



Fonte: Elaborado pela autora.

A ampliação das portas das antecâmaras da escada 03 teve impacto significativo no tempo total de deslocamento dos ocupantes que evacuaram pela saída 07 e pela saída 02, pouco alterando o tempo dos que utilizaram as outras cinco saídas. A redução do tempo da saída 07 está diretamente relacionado ao uso da escada 03, que teve a alteração arquitetônica proposta e resultou em tempos com cerca de 40% de redução para casos apenas com população padrão e reduções de 16% a 26% nos casos com presença de ocupantes com limitações funcionais. A variação em relação ao uso da saída 02 foi observada nos casos com presença de ocupantes com limitações funcionais.

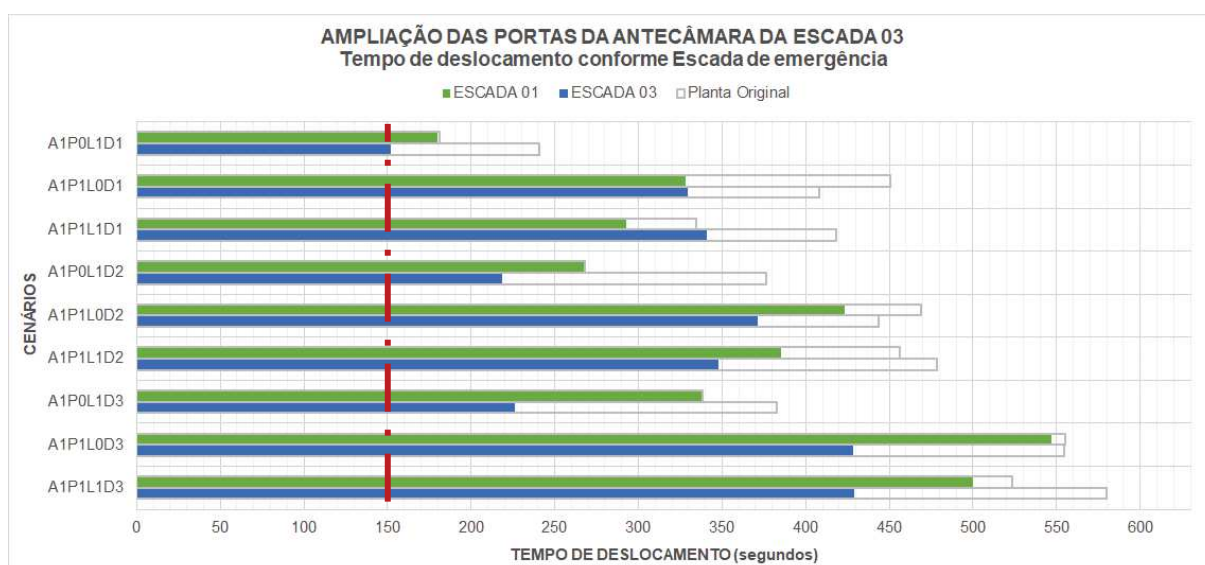
Foram constatadas falhas na simulação dos cenários A1P1L1D3 e A1P1L0D3. No caso A1P1L1D3, o tempo elevado apresentado para a saída 06 resultou de um acompanhante que ficou em espera ao lado desta porta após ter auxiliado no transporte de um PCR assistido, pois o comando do programa liberou a evacuação apenas após o auxílio de todos os PCRs assistidos e um deles tardou a receber auxílio para descida. No cenário A1P1L0D3, foi indicado tempo extremamente elevado para a saída 04 em função da escolha de um Brigadista, após auxiliar no transporte de ocupante pela escada 01, utilizar a saída 04 em detrimento da saída 02, que estaria mais próxima e segura. Vale destacar que a falha ocorrida em A1P1L1D3 também ocorreu em A1P1L0D3 para a saída 06 e que esta saída, assim como a saída 07, demanda que o ocupante atravesse área desprotegida após concluir a escada 03.

Em todos os cenários, tanto o aumento de densidade quanto a presença de ocupantes com limitações funcionais foram acompanhados pela ampliação do tempo. Não foi possível inferir o impacto do *layout*, pois houve manutenção, ampliação ou redução do tempo de deslocamento conforme cenário e saída avaliada.

5.2.5 Tempos de deslocamento conforme escada de emergência

Considerando que a proposta de alteração arquitetônica está relacionada a uma das escadas de emergência, foi realizada avaliação comparativa dos tempos totais de deslocamento por escada, conforme demonstra o gráfico 30 e a tabela Y do apêndice G.

Gráfico 30 – Tempos totais de deslocamento conforme escada de emergência, com ampliação das portas da antecâmara da escada 03



Fonte: Elaborado pela autora

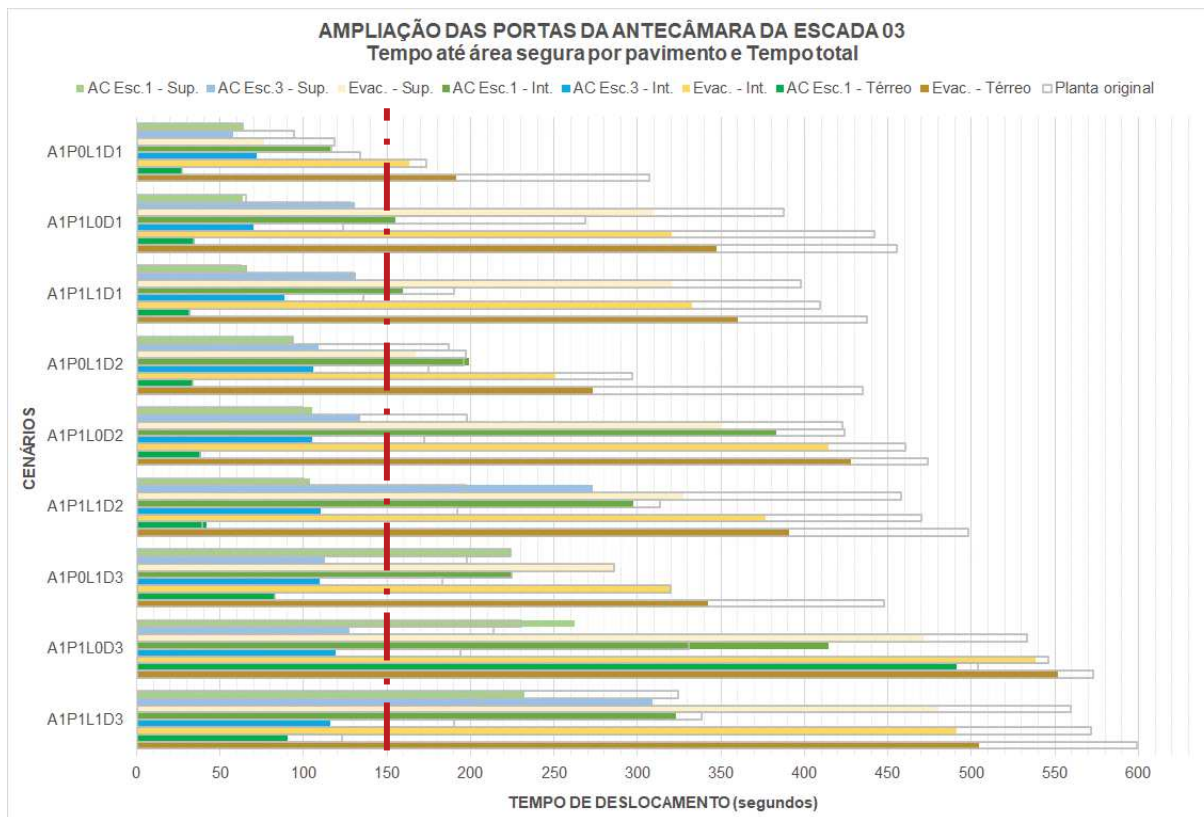
Nas simulações com o projeto original, apesar do maior número de ocupantes utilizarem a escada 01, o tempo apresentado para a escada 03 era superior na maioria dos cenários. Com a proposta de ampliação das portas das antecâmaras da escada 03, verificou-se que os maiores tempos para deslocamento passaram a corresponder a escada 01, com exceção dos cenários A1P1L0D1 e A1P1L1D1. As reduções de tempo para a escada 03 foram significativas, sendo que, na simulação A1P0L1D1, o tempo se aproximou do limite da NBS 2006.

A variável densidade permaneceu diretamente proporcional ao tempo de deslocamento, assim como a presença de ocupantes com limitações funcionais. A influência do *layout* foi menos sentida nas simulações com 1042 e 1559 ocupantes, mas a variação dos dados não permitiu inferir sobre o impacto desta variável.

5.2.6 Tempos de deslocamento até a área de relativa segurança

Os tempos resultantes, por pavimento, até os ocupantes atingirem uma área de relativa segurança foram sintetizados e comparados no gráfico 31 e na tabela Z do apêndice G.

Gráfico 31 – Tempos de deslocamento até área de relativa segurança, com ampliação das portas da antecâmara da escada 03



Fonte: Elaborado pela autora.

Comparativamente ao projeto original, o tempo de evacuação por pavimento reduziu em todos os cenários e a maioria dos resultados apresentou redução ou manutenção do tempo até a área segura. Em relação ao tempo até atingir as antecâmaras da escada 03, no piso intermediário, todos os cenários reduziram o tempo. No piso superior, a maioria dos casos também reduziu o tempo, com exceção das simulações A1P1L0D1 e A1P1L1D1, que mantiveram valor próximo ao com planta original, e dos cenários A1P1L1D2 e A1P1L1D3, que ampliaram o tempo. Sobre o tempo para atingir as antecâmaras da escada 01, apenas o cenário A1P1L0D3 resultou negativo pelo tempo ampliado nos pisos superior e intermediário. Nos cenários A1P0L1D2, A1P0L1D3 e A1P1L0D3, a redução do tempo de acesso à antecâmara da escada 03 permitiu atingir a área segura antes dos 150 segundos, o que não era registrado com a planta original.

O aumento da densidade, assim como a diversificação dos ocupantes gerou aumento no tempo de deslocamento. Não foi possível inferir sobre a variável *Layout*, devido à variedade de resultados tanto para redução, ampliação ou manutenção do tempo.

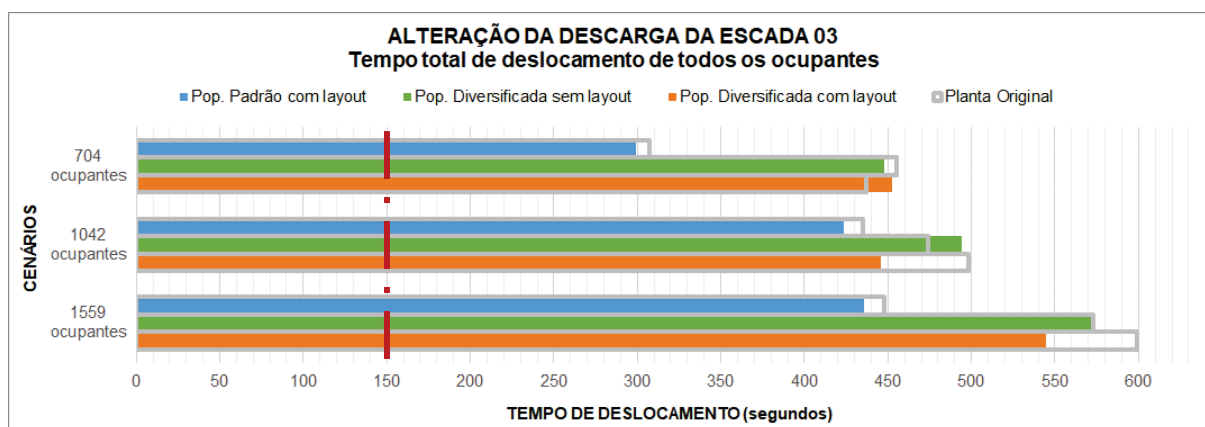
5.3 ALTERAÇÃO DA DESCARGA DA ESCADA 03

Para avaliar o impacto de variações arquitetônicas no projeto de novo prédio da FCEE, foi simulado o deslocamento da escada 03, de forma que a descarga da mesma seja diretamente para a área externa, sem a necessidade de circular em área desprotegida do térreo. Foram analisados os cenários A2P1L1D1, A2P1L0D1, A2P0L0D1, A2P1L1D2, A2P1L0D2, A2P0L0D2, A2P1L1D3, A2P1L0D3 e A2P0L0D3. A seguir, são descritos e avaliados os resultados considerando esta alteração e é feito o comparativo com os resultados da planta original. Dados tabelados contam no apêndice G.

5.3.1 Tempo total de deslocamento de todos os ocupantes

A proposta de alteração da descarga da escada 03 gerou resultados em relação ao tempo total de deslocamento que constam na tabela U do apêndice G e no gráfico 32, a seguir, de forma comparativa com o projeto original.

Gráfico 32 – Tempos totais de deslocamento de todos os ocupantes, com alteração da descarga da escada 03



Fonte: Elaborado pela autora.

O gráfico 32 demonstra que a proposta de alteração da descarga da escada 03 teve impactos distintos conforme a densidade e que os resultados foram menos significativos que em relação à proposta de ampliação das portas das antecâmaras da escada 03. Comparando os tempos dos cenários com população padrão, em todos houve uma discreta redução do tempo com a alteração da descarga da escada 03. Nos cenários com presença de ocupantes com limitações funcionais, os resultados comparativos apresentaram redução, ampliação ou manutenção do tempo, conforme o caso. Houve redução do tempo em três cenários

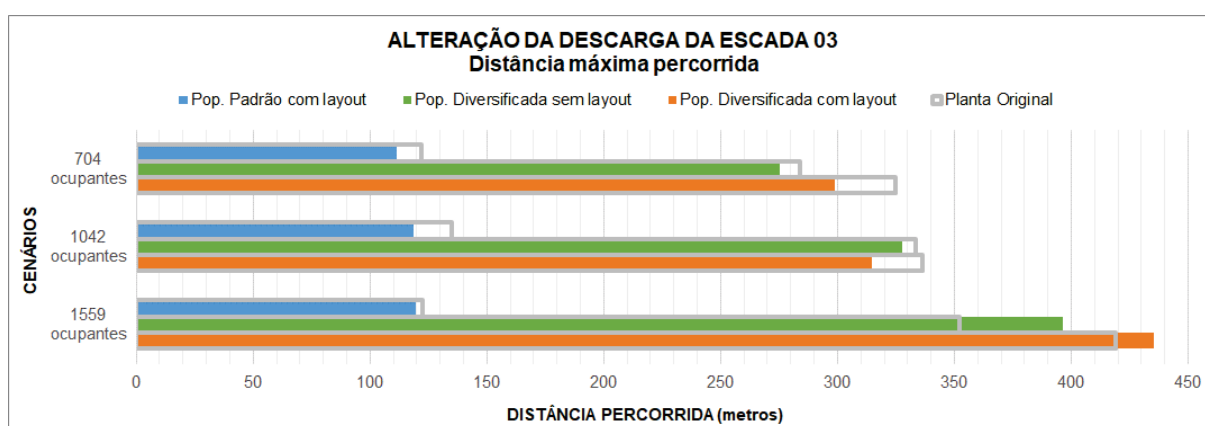
(A2P1L0D1, A2P1L1D2 e A2P1L1D3), ampliação do tempo em dois cenários (A2P1L1D1 e A2P1L0D2) e manutenção do tempo no cenário A2P1L0D3.

Em relação à variável Densidade, a maioria dos cenários teve aumento do tempo acompanhado do aumento da densidade, com exceção do cenário A2P1L1A1 que apresentou tempo superior ao cenário A2P1L1A2. No que tange a diversidade dos ocupantes, os menores tempos foram obtidos nas simulações com população padrão. Quanto à variável *Layout*, nos cenários com 704 ocupantes, a presença do *layout* ampliou no tempo de deslocamento e, nas simulações com 1042 e 1559 ocupantes, a presença do *layout* reduziu o tempo.

5.3.2 Distância máxima percorrida

Complementando a comparação entre as propostas arquitetônicas, foram avaliadas as distâncias máximas de deslocamento, conforme indica o gráfico 33 e os dados da tabela V do apêndice G.

Gráfico 33 – Distância máxima percorrida com alteração da descarga da escada 03



Fonte: Elaborado pela autora.

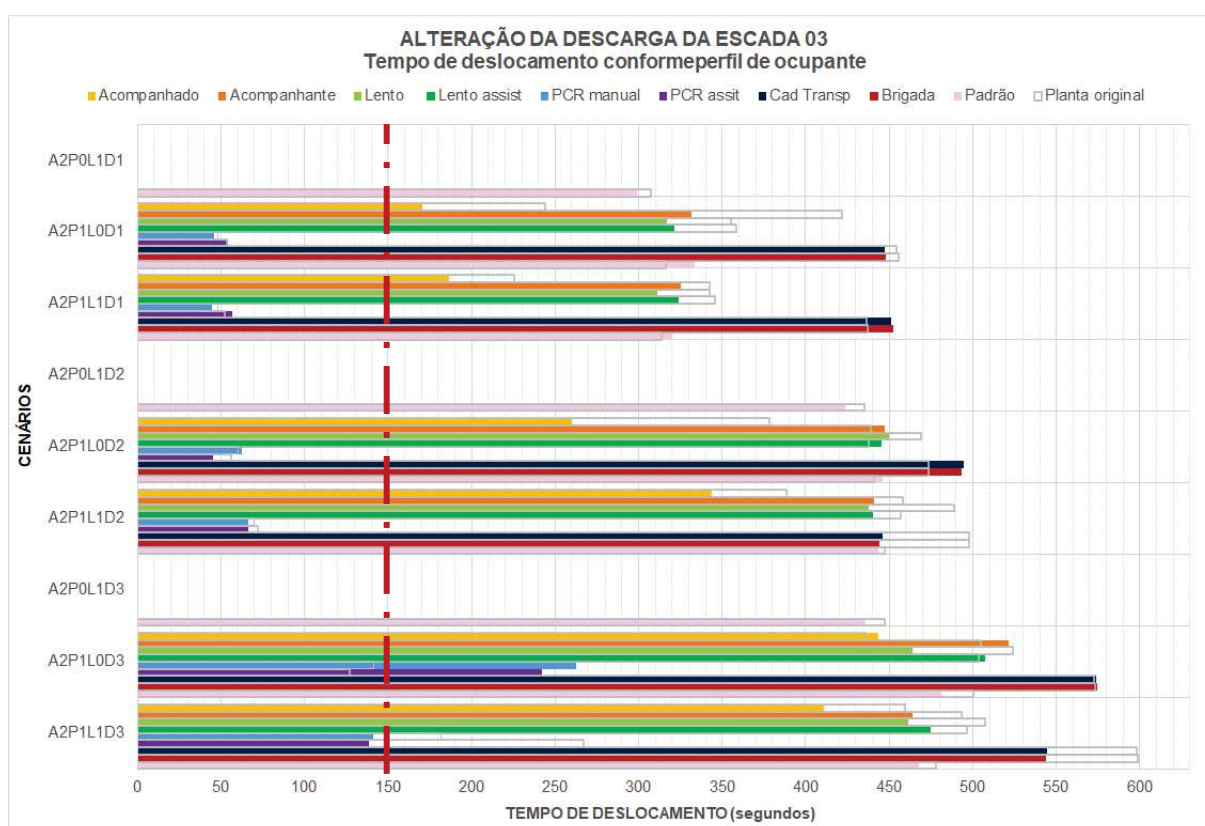
Conforme o gráfico 33, os resultados comparativos apontam pequenas redução de valor nas distâncias percorridas para a maioria dos cenários, com exceção dos cenários A2P1L0D3 e A2P1L1D3, nos quais a distância foi ampliada.

O aumento da Densidade foi acompanhado de ampliação da distância percorrida, sendo que nos cenários com população padrão o impacto foi menor. A presença de ocupantes com limitações funcionais ampliou as distâncias percorridas nas três densidades. Os cenários com *layout* apresentaram ampliação da distância nos casos com 704 e 1559 ocupantes, enquanto que, na simulação com 1042 ocupantes, a distância reduziu.

5.3.3 Tempos totais de deslocamento conforme perfil de ocupante

As implicações resultantes da alteração da descarga da escada 03 foram avaliadas comparativamente com o projeto original para cada perfil de ocupante, conforme indica o gráfico 34 e a tabela W do apêndice G.

Gráfico 34 – Tempos totais de deslocamento conforme perfil de ocupante, com alteração da descarga da escada 03



Fonte: Elaborado pela autora.

Comparando a proposta de alteração da descarga da escada 03 com o projeto original, a maioria dos perfis apresentou redução do tempo de deslocamento, com decréscimos de até 48% no caso do perfil PCR assistido no cenário A2P1L1D3. Nos cenários A2P1L1D2 e A2P1L1D3, todos os perfis reduziram o tempo. No entanto, nos cenários A2P1L0D2 e A2P1L0D3, houve maior quantidade de perfis que ampliaram o tempo de deslocamento do que de perfis que reduziram o tempo. O perfil Lento foi o único que apresentou apenas redução do tempo, enquanto os outros oito perfis apresentaram tanto ampliação quanto redução do tempo, conforme o cenário. O perfil Padrão, quando simulado em cenário composto por ocupantes homogêneos, apresentou redução do tempo nas três densidades. Mas, quando simulado com presença de ocupantes com limitação funcional, apresentou ampliação do tempo com lotação

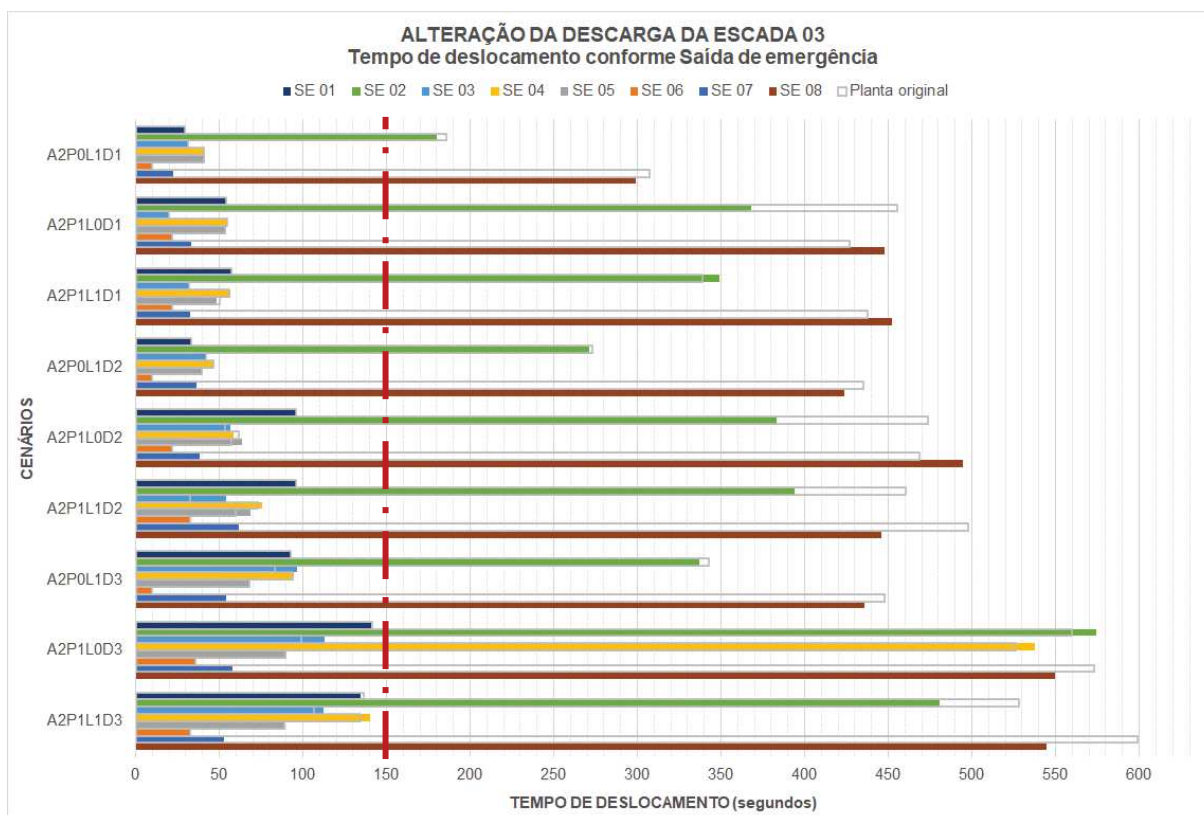
704, independentemente de *layout*, e com 1042 ocupantes sem *layout*. É interessante destacar que os perfis PCR, no cenário A2P1L0D3 ampliaram o tempo, ultrapassando o limite dos 150 segundos, enquanto que, no cenário A2P1L1D3, reduziram o tempo para menos de 150 segundos.

Em relação à variável Densidade, na maioria dos casos, os perfis apresentaram ampliação do tempo acompanhando o aumento da população, com exceção dos perfis Cadeira de Transporte e Brigadista, no cenário A2P1L1D2, e do perfil PCR Acompanhado, no cenário A2P1L0D2. No que se refere à presença de ocupantes diferenciados, observou-se que o tempo para o perfil padrão aumentou ao serem inseridos ocupantes com limitações funcionais, no entanto a amplitude foi baixa. No que diz respeito à influência do *layout*, não foi possível inferir seu impacto, devido aos resultados indicarem tanto ampliação quanto redução do tempo, conforme o perfil e o cenário.

5.3.4 Tempos de deslocamento conforme saída de emergência localizada no pavimento térreo

O tempo de deslocamento conforme a porta de saída escolhida foi analisado de forma comparativa, para avaliar o impacto da alteração da descarga da escada 03, visto que esta proposta acrescenta uma oitava opção de saída da edificação. O gráfico 35 apresenta os tempos totais de deslocamento para cada uma das saídas de emergência e dados complementares constam na tabela X do apêndice G.

Gráfico 35 – Tempos totais de deslocamento conforme porta de saída de emergência, com alteração da descarga da escada 03



Fonte: Elaborado pela autora.

O gráfico demonstra, de forma semelhante ao observado com o projeto original, que apenas duas das saídas de emergência resultaram em tempos superiores ao limite da NBS 2006, sendo estas saídas as que acumulam, preferencialmente, os ocupantes localizados nos pisos intermediário e superior. A nova saída 08 foi utilizada apenas por ocupantes que utilizaram a escada 03 e, desta forma, migrou ocupantes que, no projeto original, utilizaram a saída 06 ou a 07. Comparando os tempos obtidos para a saída 07 do projeto original com os tempos da saída 08, observa-se que, na maioria das simulações, o tempo foi reduzido, com exceção dos cenários A2P1L0D1, A2P1L1D1 e A2P1L0D2, nos quais o tempo da saída 08 foi superior. Apesar da alteração arquitetônica ter sido realizada na escada 03, o gráfico demonstrou variação no tempo de deslocamento dos ocupantes que utilizaram a saída 02, localizada junto à escada 01.

Foi constatada a mesma falha ocorrida no projeto original para a simulação A2P1L0D3 em relação ao elevado tempo da saída 04, resultante de Brigadista que não evacuou pela saída 02 após utilizar a escada 01.

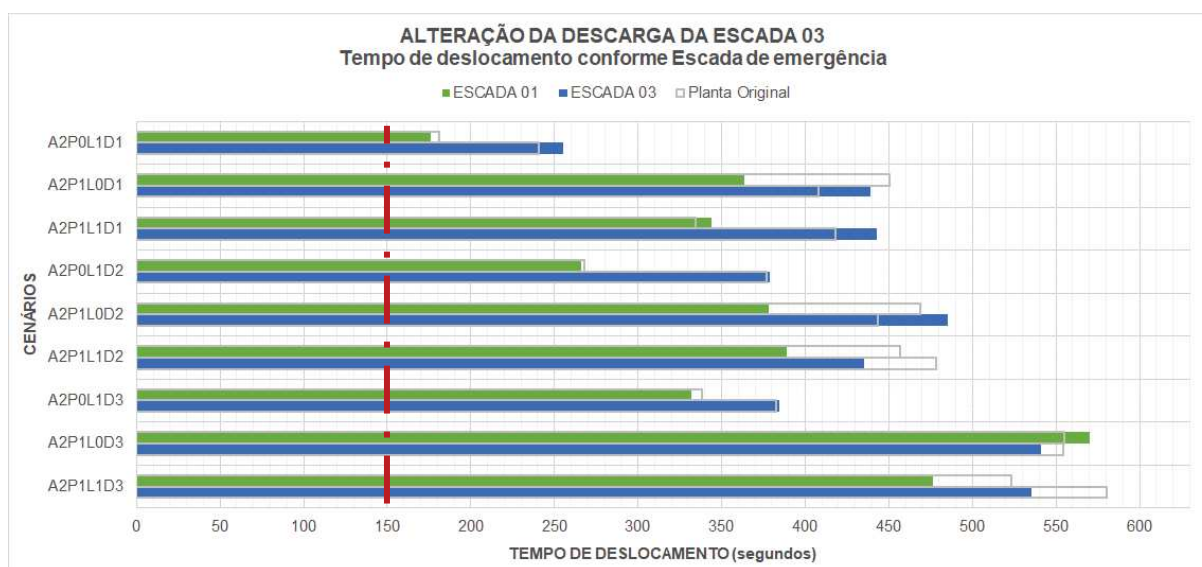
Em relação à variável Densidade, na maioria dos casos o aumento da população foi acompanhado pela ampliação do tempo, com exceção da saída 05 no cenário A2P0L1D2, da

saída 07 no cenário A2P1L1D3 e da saída 08 no cenário A2P1L1D2. Quanto à presença de ocupantes com limitação funcional, as simulações com população homogênea tiveram tempos menores que as simulações com população heterogênea. Relativamente à influência do *layout*, não foi possível inferir seu impacto, devido aos resultados indicarem tanto ampliação quanto redução do tempo, conforme o perfil e o cenário.

5.3.5 Tempos de deslocamento conforme escada de emergência

Foram avaliados comparativamente os tempos de deslocamento conforme a escada de emergência, para análise do impacto da alteração da descarga da escada 03, conforme demonstra o gráfico 36 e a tabela Y do apêndice G.

Gráfico 36 – Tempos totais de deslocamento conforme escada de emergência, com alteração da descarga da escada 03



Fonte: Elaborado pela autora.

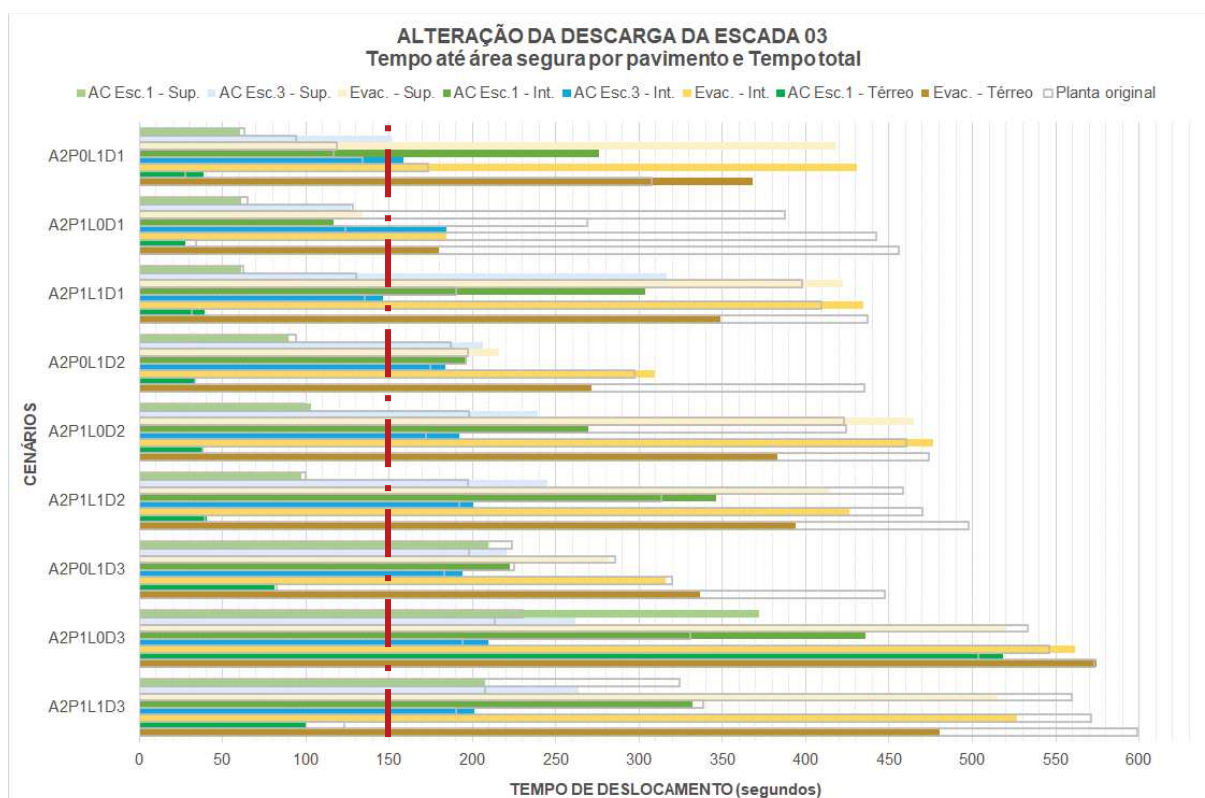
O gráfico 36 aponta tempos superiores ao limite da NBS 2006 para todos os cenários. Assim como na simulação com projeto original, apesar de maior número de ocupantes utilizarem a escada 01, o tempo apresentado para a escada 03 foi superior na maioria das simulações com alteração da descarga da escada 03, com exceção do cenário A2P1L0D3. Apesar de a alteração arquitetônica ter sido realizada na escada 03, o gráfico demonstrou mais reduções no tempo da escada 01 que da escada 03. O tempo da escada 03 ampliou em seis dos nove cenários.

Foi registrada ampliação no tempo de deslocamento tanto em relação ao aumento de ocupantes quanto no que se refere à presença de ocupantes diferenciados. Não foi possível inferir sobre o *layout*, em função de os resultados indicarem tanto ampliação quanto redução do tempo conforme o cenário e a escada.

5.3.6 Tempos de deslocamento até a área de relativa segurança

Considerando que a proposta de alteração da descarga da escada 03 visa garantir que os ocupantes atinjam e permaneçam em área de relativa segurança no menor tempo possível, foram comparados os tempos resultantes, por pavimento, até os ocupantes atingirem uma área de relativa segurança (antecâmaras e escadas de emergência) e o resultado foi sintetizado no gráfico 37 e na tabela Z do apêndice G.

Gráfico 37 – Tempos de deslocamento até área de relativa segurança, com alteração da descarga da escada 03



Fonte: Elaborado pela autora.

Comparando os resultados com o projeto original, no piso superior o acesso à antecâmara da escada 01, na maioria dos cenários, teve o tempo reduzido (exceção A2P1L0D3), enquanto que o acesso à antecâmara da escada 03 teve o tempo ampliado, resultando que os

tempos totais de evacuação do piso superior apresentaram variações tanto positivas quanto negativas. Em relação ao piso intermediário, a maioria dos cenários teve aumento no tempo de acesso às antecâmaras e de evacuação do piso. No piso térreo, o acesso à antecâmara da escada 01 teve pouca variação na densidade 1042 ocupantes. Nas outras densidades, esse tempo tanto aumentou quanto reduziu. Já em relação à evacuação total do piso, a maioria dos cenários reduziu o tempo em relação ao projeto original (exceção A2L1P0D3). Poucos foram os registros de tempo inferiores a 150 segundos: no acesso à antecâmara da escada 01 do piso superior nas densidades 704 e 1042 ocupantes; no cenário A2P1L1D1 para acesso à antecâmara da escada 03 no piso intermediário; e, no cenário A2P1L0D1, o acesso à antecâmara da escada 01 em todo os pisos, o acesso à antecâmara da escada 03 no piso superior e a evacuação do piso superior. Vale o destaque para cenário A2P1L0D1, que apresentou significativas reduções de tempo, apesar do acréscimo no tempo de acesso à antecâmara da escada 03 no piso intermediário. Na maioria dos casos, o tempo para acesso às antecâmaras da escada 03 possivelmente aumentou em função do deslocamento da posição da escada 03, que passou a ser mais afastada do centro de atividades correspondente e a obrigar os ocupantes a transpor mais uma área de gargalo, referente à porta de acesso ao centro.

Na maioria dos casos simulados com a alteração da descarga da escada 03, o aumento da densidade resultou ampliação do tempo, sendo que, nos cenários A2P1L1D2 e A2P0L1D2, alguns tempos foram reduzidos em relação à densidade menor. A presença de ocupantes diferenciados ampliou o tempo na maioria dos cenários, com exceção da simulação A2P1L0D1. A presença do *layout* gerou redução e ampliação do tempo, não sendo possível inferir sobre seu impacto.

Os resultados do gráfico 37 e da tabela Z do apêndice G são válidos por apresentarem principalmente os tempos para os andares superior e intermediário, mas não produziram dados consistentes para justificar a proposta de alteração de deslocamento da escada 03 para a descarga direta ao exterior do edifício, pois não foi mensurado o intervalo de tempo no térreo em que os ocupantes que utilizaram a escada 03 original ficam expostos a áreas sem proteção após deixarem a antecâmara da escada até a porta de saída final da edificação. Esta análise foi feita parcialmente, com base nas imagens disponíveis no apêndice H, para comparação entre os pisos térreos aos 150 segundos. Na análise dessas cenas, é possível verificar que, apenas nas simulações com alteração da descarga da escada 03, há resultados de ocupantes seguros no térreo aos 150 segundos do início do deslocamento. Nos demais cenários, são visíveis ocupantes circulando entre a antecâmara da escada 03 e a saída 07.

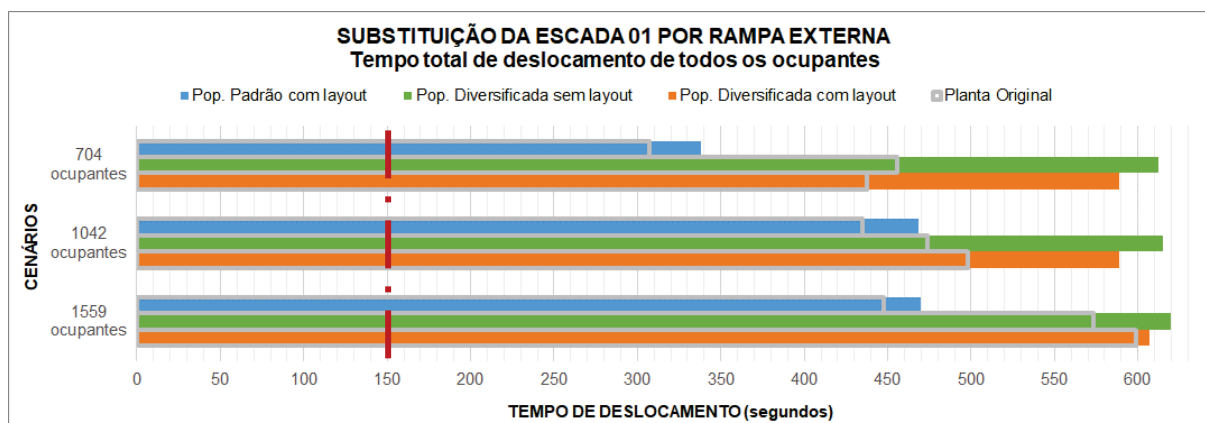
5.4 SUBSTITUIÇÃO DA ESCADA 01 POR RAMPA EXTERNA

Para avaliar o impacto de variações arquitetônicas no projeto de novo prédio da FCEE, foi simulada a substituição da escada 01 por uma rampa externa. Foram analisados os cenários A3P1L1D1, A3P1L0D1, A3P0L0D1, A3P1L1D2, A3P1L0D2, A3P0L0D2, A3P1L1D3, A3P1L0D3 e A3P0L0D3. A seguir são descritos e avaliados os resultados considerando esta alteração e é feito o comparativo com os resultados da planta original. Dados tabelados constam no apêndice G.

5.4.1 Tempo total de deslocamento de todos os ocupantes

Para avaliar o impacto da proposta de substituição da escada 01 por rampa externa, foram analisados os resultados em relação ao tempo total de deslocamento que constam na tabela U do apêndice G e no gráfico 38, a seguir, de forma comparativa com o projeto original.

Gráfico 38 – Tempo total de deslocamento de todos os ocupantes, com substituição da escada 01 por rampa externa



Fonte: Elaborado pela autora.

Todos os cenários ultrapassaram os 150 segundos e, em comparação com o projeto original, tiveram tempo ampliado, sendo que, nos cenários com população padrão e na simulação A3P1L1D3, o aumento foi menos significativo. Este acréscimo no tempo total de deslocamento, inicialmente, representa um risco maior à segurança, mas deve ser analisado em conjunto com o tempo de chegada dos ocupantes até uma área de relativa segurança (tópico 5.4.6), que foi o enfoque desta alteração arquitetônica, visando maior autonomia de PCR.

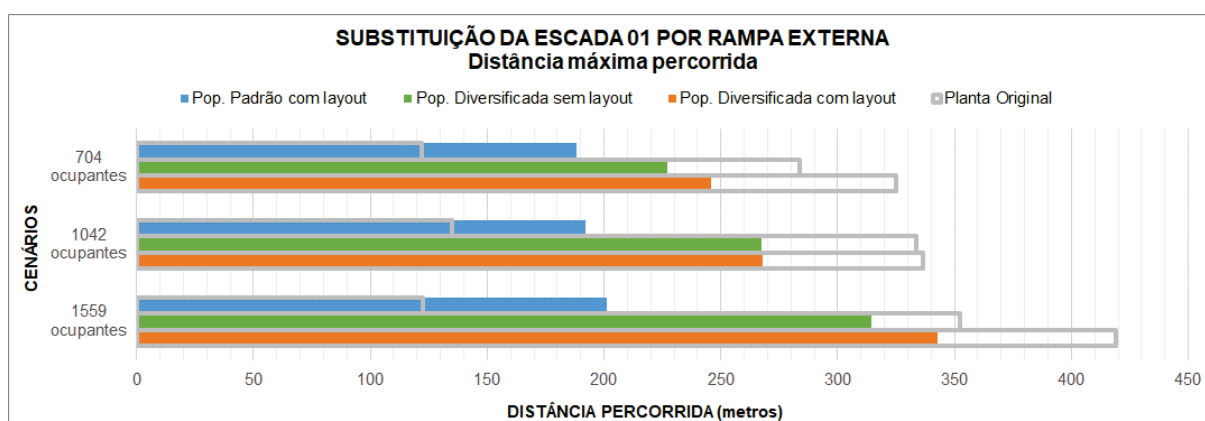
Em relação ao impacto da densidade nas simulações com rampa externa, os resultados apresentaram pouca variação, sendo mais significativo o aumento no cenário com população

padrão passando de 704 para 1042 ocupantes. No que se refere à presença de ocupantes com limitação funcional, as simulações com população padrão apresentaram tempos mais reduzidos, assim como as simulações com *layout* tiveram tempo inferior às simulações sem *layout*. Nos cenários com 704 ocupantes, a diversificação dos ocupantes incrementou em 43% o tempo de deslocamento.

5.4.2 Distância máxima percorrida

Complementado a análise, foram avaliadas as distâncias máximas de deslocamento para comparação com o projeto original, conforme indicam o gráfico 39 e os dados da tabela V do apêndice G.

Gráfico 39 – Distância máxima percorrida, com substituição da escada 01 por rampa externa



Fonte: Elaborado pela autora.

A comparação com o projeto original demonstra ampliação da distância máxima percorrida nos cenários com população padrão, em função do trajeto em rampa ser mais extenso que em escada. Nos cenários com população heterogênea, a distância máxima foi reduzida, porque, apesar de a rampa ter trajeto mais comprido que a escada, não foram simulados ocupantes Brigadistas que, no projeto original, repetiam o trajeto de ida e vinda pelas escadas, resultando isso em maiores distâncias percorridas.

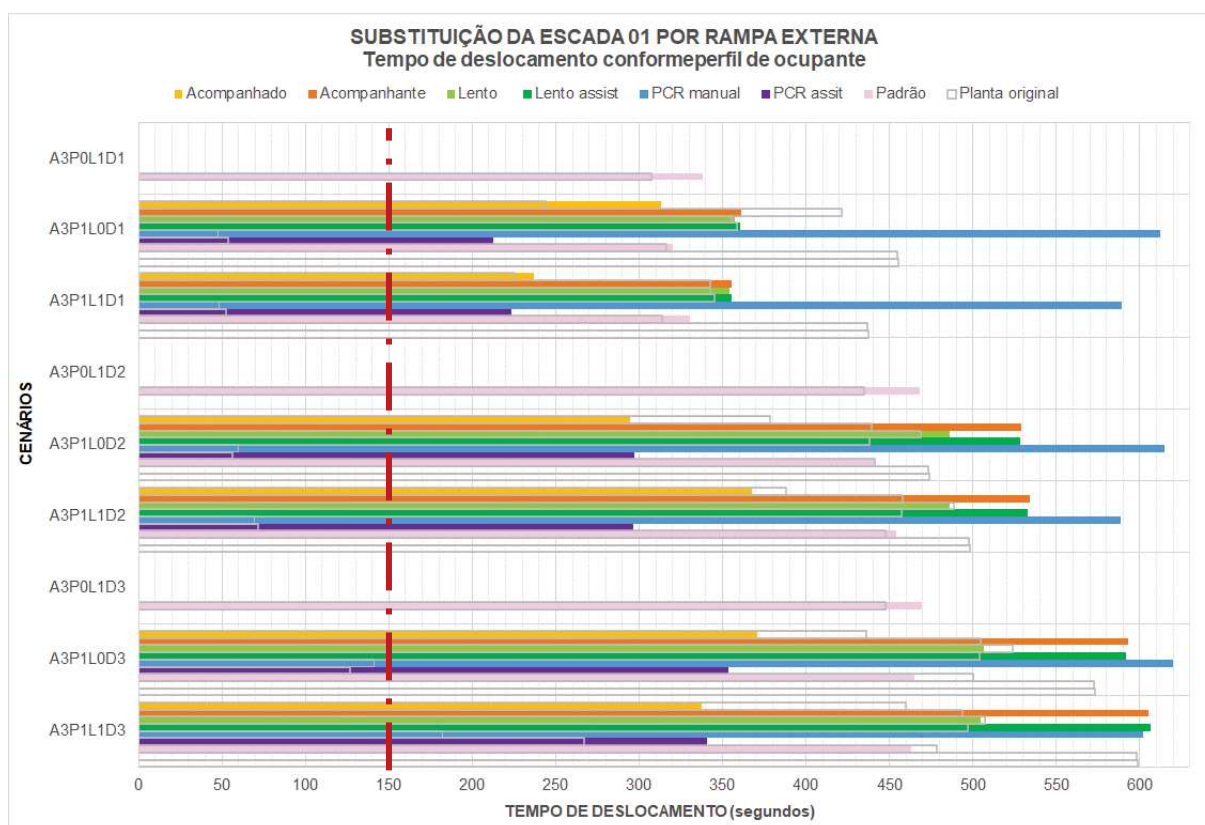
Avaliando a variável Densidade nas simulações com rampa, houve ampliação da distância conforme o aumento da população, sendo o impacto menor nos cenários com população padrão. A presença de ocupantes diferenciados resultou em distâncias maiores que nos cenários com população padrão, pois ocupantes PCR que estavam mais próximos da escada 03 deslocaram-se em sentido da rampa, ampliando o trajeto. Sobre o *layout*, nos cenários com

704 e com 1559 ocupantes, as maiores distâncias foram com a presença do *layout*. Nos cenários com 1042 ocupantes, o *layout* não interferiu na distância.

5.4.3 Tempos totais de deslocamento conforme perfil de ocupante

O tempo de deslocamento para cada perfil foi avaliado comparativamente com o projeto original, para analisar o impacto da substituição da escada 01 por rampa externa, visto que, nos casos com rampa, não foram considerados os perfis Brigadista e Cadeira de Transporte, pois os ocupantes em cadeira de rodas utilizam a rampa e não precisam ser transportados. O gráfico 40 e a tabela W do apêndice G apresentam os resultados para comparação entre projetos e perfis.

Gráfico 40 – Tempos totais de deslocamento conforme perfil de ocupante, com substituição da escada 01 por rampa externa



Fonte: Elaborado pela autora.

Nas simulações com rampa externa, nenhum dos perfis teve tempo total de deslocamento dentro do limite da NBS 2006 e, em comparação com o projeto original, a maioria dos cenários e perfis tiveram o tempo de deslocamento ampliado, com destaque para os perfis

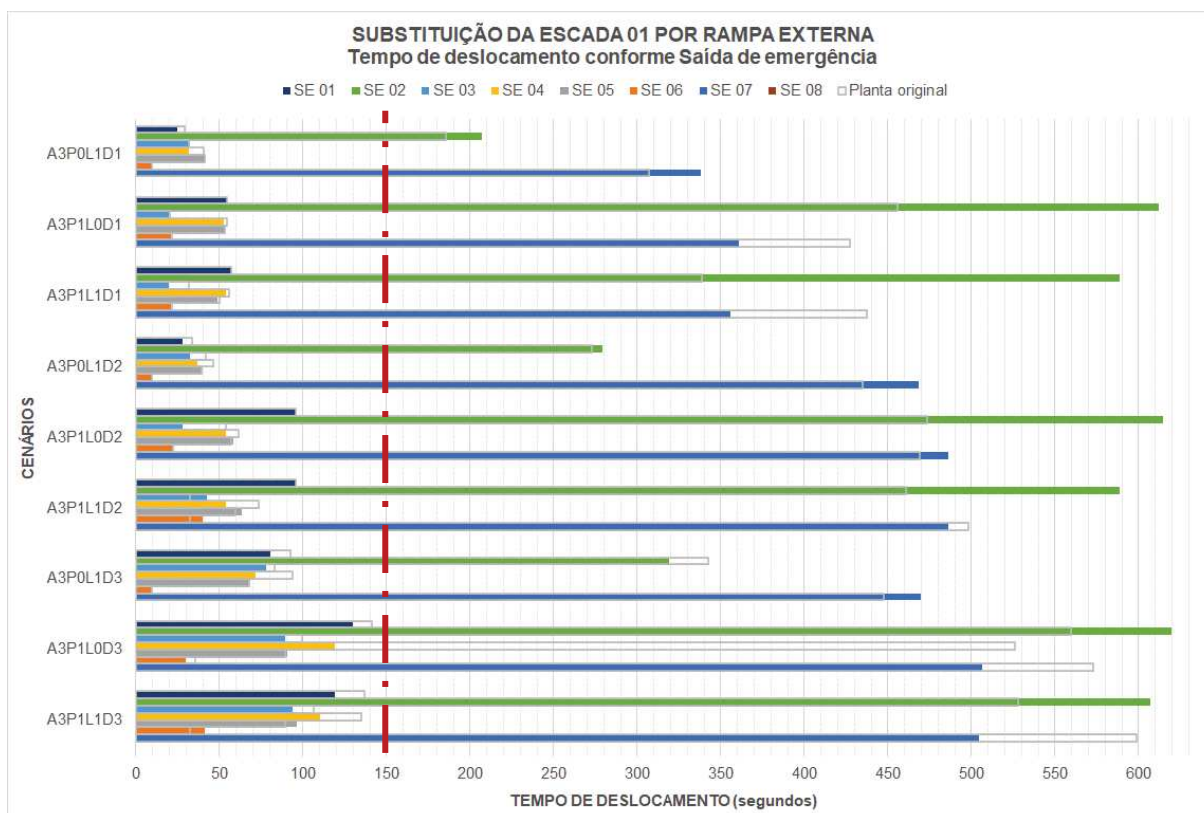
PCR. O aumento do tempo dos perfis PCR Manual e PCR Assistido, que antes obtinham valores até inferiores a 150 segundos, resulta da consideração destes ocupantes em todos os pisos, não apenas no térreo, como no projeto original e nas outras alterações arquitetônicas. Observa-se que o tempo total do PCR Manual foi significativamente ampliado, ultrapassando inclusive os perfis de Brigadista e Cadeira de Transporte presentes no projeto original, passando a representar o perfil do último ocupante a completar a evacuação em todos os cenários com população heterogênea, com exceção da simulação A3P1L1D3. O perfil PCR Assistido teve o tempo ampliado, mas ainda permaneceu, juntamente com o perfil Acompanhado, como um dos perfis com menores tempo de deslocamento nos cenários com população heterogênea. Os perfis Acompanhante e Lento Assistido tiveram tempos próximos, pois o Acompanhante estava prestando assistência ao Lento Assistido e, nestes casos, o impacto com 704 ocupantes foi pouco significativo, mas em outras densidades a ampliação foi considerável. O perfil Lento, que teve tempo superior ao Lento Assistido em alguns cenários do projeto original, com a inserção de rampa, passou a apresentar tempos inferiores ao Lento Assistido. O perfil Padrão ampliou o tempo de deslocamento na maioria dos cenários com rampa, com exceção das simulações sem *layout* e A3P1L1D3, em que apresentou manutenção ou pequena redução de tempo.

Analisando a variável Densidade nos cenários com rampa, a maioria dos tempos foram ampliados com o aumento da população, com exceção do perfil Acompanhado nos cenários A3P1L0D2 e A3P1L1D3 e do perfil PCR no cenário A3P1L1D2, em que o tempo se reduziu ao aumentar a densidade. No que se refere à presença de ocupantes diferenciados, observou-se que o tempo dos ocupantes com perfil padrão foi menor nos cenários com população heterogênea que naqueles com população homogênea. Mas, considerando o conjunto de todos os perfis, o tempo do ocupante Padrão esteve entre os tempos do perfil Acompanhado e do perfil Lento. Sobre a influência do *layout*, não foi possível inferir seu impacto, devido aos resultados indicarem tanto ampliação quanto redução do tempo, conforme o perfil e o cenário.

5.4.4 Tempos de deslocamento conforme saída de emergência localizada no pavimento térreo

Foram analisados comparativamente, para avaliar o impacto da substituição da escada 01 por rampa externa, os tempos de deslocamento conforme a porta de saída de emergência escolhida. O gráfico 41 apresenta os tempos para cada uma das saídas. Dados complementares constam na tabela X do apêndice G.

Gráfico 41 – Tempos totais de deslocamento conforme porta de saída de emergência, com substituição da escada 01 por rampa externa



Fonte: Elaborado pela autora.

De forma similar aos resultados com o projeto original, apenas os tempos para as saídas 02 e 07 ultrapassaram o limite da NBS 2006. Em relação ao projeto original, a saída 02 ampliou significativamente o tempo de deslocamento nos cenários com população heterogênea. Nas simulações com população padrão, o aumento do tempo foi menor e, no caso com 1559 ocupantes padrão, o tempo reduziu. As saídas 01 e 04 mantiveram ou reduziram o tempo de deslocamento, conforme o cenário. A saída 03, em geral, reduziu o tempo de deslocamento, com exceção dos cenários A3POL1D1 e A3P1L0D1, que mantiveram o tempo, e do cenário A3P1L1D2, que ampliou o tempo. As saídas 05 e 06 apresentaram pouca variação do tempo, sendo perceptível aumento do tempo nos cenários A3P1L1D2 e A3P1L1D3 e pequena redução no tempo da saída 06 no cenário A3P1L0D3. A saída 07 apresentou tanto redução quanto ampliação do tempo, conforme o cenário, apesar de a escada 03 não ter tido mais necessidade de transporte de ocupantes.

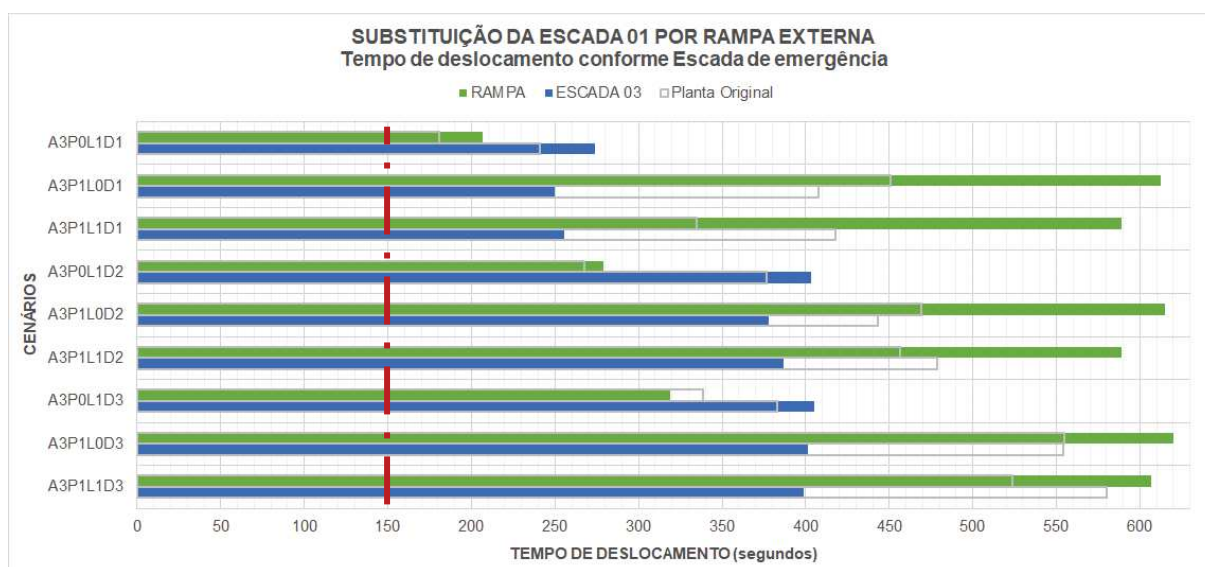
No que se refere à Densidade nos cenários com rampa, o aumento da população ampliou o tempo de deslocamento. Em relação à presença de ocupantes com limitações funcionais, os cenários com população padrão apresentaram menores tempos de deslocamento,

com exceção da saída 03 nos cenários com 704 e 1042 ocupantes. Não foi possível inferir o impacto do *layout*, pois houve tanto ampliação quanto redução do tempo, conforme a saída de emergência e o cenário.

5.4.5 Tempos de deslocamento conforme escada ou rampa de emergência

O tempo de deslocamento conforme a escada ou rampa de emergência foi avaliado comparativamente para análise do impacto da substituição da escada 01 por rampa externa, conforme demonstram o gráfico 42 e a tabela Y do apêndice G.

Gráfico 42 – Tempos totais de deslocamento conforme escada de emergência, com substituição da escada 01 por rampa externa



Fonte: Elaborado pela autora.

Comparando os resultados com o projeto original, o tempo dos ocupantes que utilizaram a rampa foi ampliado, com exceção da simulação A3P0L1D3. Esta ampliação do tempo está relacionada tanto ao deslocamento de ocupantes PCR que iniciam mais próximo da escada 03 mas utilizam a rampa, quanto ao trajeto mais extenso da rampa em relação à escada. Em relação à escada 03, o tempo foi reduzido nos cenários com população heterogênea e ampliado nos casos com população homogênea. O impacto da variação no tempo, tanto para escada quanto para rampa, foi mais significativo nos cenários com população diversificada que nos casos com população padrão.

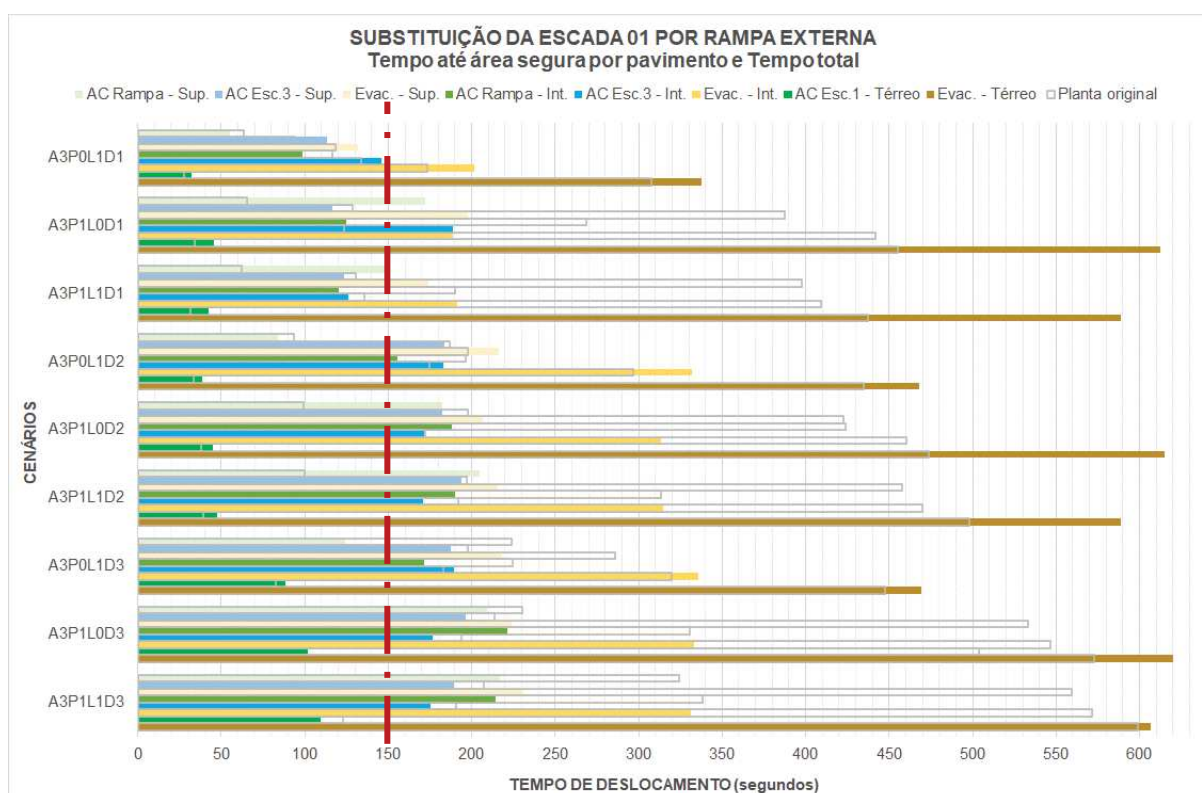
O aumento de densidade dos cenários resultou em ampliação do tempo de deslocamento. A presença de ocupantes diferenciados ampliou o tempo de deslocamento da

rampa e reduziu o tempo de deslocamento da escada 01. O tempo de deslocamento utilizando a rampa foi maior do que o tempo utilizando escada 03, com exceção dos casos de população padrão, em que o tempo da escada foi maior. Os cenários com presença de *layout* reduziram o tempo de deslocamento dos ocupantes que utilizaram a rampa. Já em relação a escada 03, o tempo foi ampliado nos cenários com 704 e 1042 ocupantes e reduzido no caso de 1559 ocupantes.

5.4.6 Tempos de deslocamento até a área de relativa segurança

Considerando que a proposta de rampa ampliou o tempo total de deslocamento dos ocupantes, foram avaliados os tempos resultantes, por pavimento, até os ocupantes atingirem uma área de relativa segurança (antecâmaras), e o resultado comparativo foi sintetizado no gráfico 43 e na tabela Z do apêndice G.

Gráfico 43 – Tempos de deslocamento até área de relativa segurança, com substituição da escada 01 por rampa externa



Fonte: Elaborado pela autora.

Em comparação com o projeto original, o acesso à antecâmara da escada 03 no piso superior teve o tempo de deslocamento reduzido, em função do direcionamento dos ocupantes

PCR para a rampa, reduzindo aglomerações e congestionamentos. Exceção foi o cenário A3P0L1D1. No piso intermediário, o acesso à antecâmara da escada 03 teve o tempo de deslocamento reduzido apenas nos cenários A3P1L1D1, A3P1L1D2, A3P1L0D3 e A3P1L1D3, sendo que, no cenário A3P1L0D2, o tempo foi mantido. O acesso à antecâmara da rampa no piso superior teve o tempo reduzido nos cenários com 1559 ocupantes e nas simulações A3P0L1D1 e A3P0L1D2. Nos outros quatro cenários, o tempo foi ampliado. No piso intermediário, o acesso à antecâmara da rampa teve o tempo reduzido em todos os cenários. O tempo de evacuação do piso superior reduziu na maioria dos cenários, com exceção das simulações A3P0L1D1 e A3P0L1D2, em que o tempo aumentou. O tempo de evacuação do piso intermediário reduziu-se nos cenários com população heterogênea e ampliou-se nas simulações com população padrão. Os dados de tempo referentes à evacuação do piso térreo indicam ampliação do tempo de deslocamento, por considerarem todos os ocupantes do prédio. O acesso ao que era originalmente a antecâmara da escada 01 no térreo teve tempo ampliado, com exceção dos cenários A3P1L0D3 e A3P1L0D3.

O aumento de densidade foi acompanhado pela ampliação do tempo de deslocamento na maioria dos cenários. As simulações com presença de ocupantes diferenciados tiveram tempo maior em relação aos casos apenas com população padrão, com exceção do acesso à escada 03 no pavimento intermediário e da evacuação do pavimento intermediário em si. Não foi possível inferir sobre a influência da presença do *layout*, pois os resultados indicaram tanto ampliação quanto redução, sem evidenciar um padrão.

5.5 COMPARAÇÃO ENTRE AS SIMULAÇÕES

Além das análises a partir dos resultados finais das simulações, foi avaliada a situação de cada pavimento após 150 segundos do início do deslocamento. O apêndice H apresenta as cenas em planta das simulações. O quadro 29 sintetiza a situação da evacuação em cada simulação, indicando pontos positivos e pontos críticos observados.

Quadro 29 – Situação das evacuações aos 150 segundos.

Cenários	Ocup. Evac. (%)	Ocup. em área protegida			Brigadista em espera			Ocup. em cadeira de rodas		Aglomeração/gargalo - área protegida			Aglomeração/gargalo - área sem proteção	
		TER.	INT.	SUP.	TER.	INT.	SUP.	INT.	SUP.	TER.	INT.	SUP.	INT.	SUP.
A0P1L1D1	67%	parcial	parcial	total	SE 2	CETEP	não	aglomeração	não	acesso AC esc.3; esc.3	PCR na AC esc.1	não	PCR no acesso AC esc.1	não
A1P1L1D1	77%	parcial	parcial	total	não	CETEP	não	aglomeração	não	acesso AC esc.3	PCR na AC esc.1	não	não	não
A2P1L1D1	70%	total	parcial	parcial	não	CETEP	não	aglomeração	aglomeração	acesso AC esc.3; esc.3	PCR na AC esc.1	não	PCR no acesso a AC esc.1	acesso AC esc.3 (PCR)
A3P1L1D1	56%	parcial	total	parcial	não	não	não	não	atraso	acesso AC esc.3 e esc.3	não	não	não	PCR no acesso AC rampa
A0P1L0D1	63%	parcial	parcial	total	SE 2	CETEP	não	aglomeração	aglomeração	acesso AC esc.3; esc.3; SE 2	PCRs na AC esc.1	PCRs na AC esc.3	não	não
A1P1L0D1	79%	parcial	parcial	total	não	CETEP	não	aglomeração	não	acesso AC esc.3	PCRs na AC esc.1	não	PCR no acesso da AC esc.1	não
A2P1L0D1	70%	total	parcial	parcial	não	CETEP	não	aglomeração	atraso	acesso AC esc.3; esc.3	AC esc.1 (PCR); acesso AC esc.3	não	PCR na AC esc.1	PCR no acesso AC esc.3
A3P1L0D1	57%	parcial	total	parcial	não	não	não	não	atraso	acesso AC esc.3; esc.3	não	não	não	PCR no CAP
A0P0L1D1	70%	parcial	total	total	*	*	*	*	*	acesso AC esc.3 e esc.3	não	não	não	não
A1P0L1D1	81%	parcial	total	total	*	*	*	*	*	acesso AC esc.3	não	não	não	não
A2P0L1D1	72%	total	parcial	total	*	*	*	*	*	acesso AC esc.3 e esc.3	não	não	acesso AC esc.3	não
A3P0L1D1	57%	parcial	total	total	*	*	*	*	*	acesso AC esc.3 e esc.3	acesso esc.3	não	não	não
A0P1L1D2	51%	parcial	parcial	parcial	não	CETEP e NAAHS	não	aglomeração	aglomeração	acesso AC esc.3 e esc.3	não	não	acesso ACs; circ. CETEP e NAAHS	acesso esc.3
A1P1L1D2	54%	parcial	parcial	total	não	CETEP	não	atraso	não	esc.1; acesso AC esc.3	não	não	acesso esc.1 e circ. CETEP	não
A2P1L1D2	51%	total	parcial	parcial	não	CETEP	não	aglomeração	aglomeração	acesso AC esc.3 e esc.3	AC esc.1 (PCRs)	não	acesso ACs; circ. CETEP	acesso AC esc.3
A3P1L1D2	41%	parcial	parcial	parcial	não	não	não	aglomeração	atraso	acesso AC esc.3 e esc.3	ACs	AC esc.3	acesso ACs; circ. CETEP	acesso AC esc.3
A0P1L0D2	49%	parcial	parcial	parcial	não	CETEP	não	aglomeração	aglomeração	acesso AC esc.3 e escadas	não	acesso esc.3	acesso ACs	acesso AC esc.3
A1P1L0D2	55%	parcial	parcial	total	não	CETEP	não	aglomeração	não	acesso AC esc.3; esc.1	não	não	circ. CETEP	não
A2P1L0D2	52%	total	parcial	parcial	não	CETEP	não	aglomeração	aglomeração	acesso AC esc.3 e esc.3	AC esc.1	não	acesso ACs; circ. CETEP	acesso AC esc.3
A3P1L0D2	41%	parcial	parcial	parcial	não	não	não	aglomeração	atraso	acesso AC esc.3 e esc.3	acesso esc.3	acesso esc.3	acesso ACs; circ. CETEP	acesso AC esc.3
A0P0L1D2	52%	parcial	parcial	parcial	*	*	*	*	*	acesso AC esc.3 e esc.3	AC esc.1	acesso esc.3	acesso ACs	acesso AC esc.3
A1P0L1D2	59%	parcial	parcial	total	*	*	*	*	*	acesso AC esc.3	AC esc.1	não	acesso AC esc.1; circ. CETEP	não
A2P0L1D2	53%	total	parcial	parcial	*	*	*	*	*	acesso AC esc.3 e esc.3	AC esc.1	não	acesso ACs; circ. CETEP	acesso AC esc.3
A3P0L1D2	43%	parcial	parcial	parcial	*	*	*	*	*	acesso AC esc.3 e esc.3	acesso esc.3	acesso esc.3	acesso ACs	acesso AC esc.3
A0P1L1D3	53%	parcial	parcial	parcial	não	CETEP	não	aglomeração	aglomeração	escadas; acesso AC esc.3	não	acesso esc.3	acesso ACs; circ. CETEP	acesso ACs (PCRs)
A1P1L1D3	61%	parcial	parcial	parcial	não	CETEP	não	aglomeração	aglomeração	não	não	AC esc.1	acesso ACs; circ. CETEP	acesso AC esc.1
A2P1L1D3	57%	total	parcial	parcial	não	CETEP	CETEA	aglomeração	aglomeração	acesso AC esc.3	não	não	circ. CETEP; acesso AC esc.3	acesso ACs; saída CETEA
A3P1L1D3	52%	parcial	parcial	parcial	não	não	não	aglomeração	atraso	acesso AC esc.3	acesso esc.3	acesso esc.3	acesso ACs; circ. CETEP	acesso AC esc.3
A0P1L0D3	55%	parcial	parcial	parcial	não	CETEP	não	aglomeração	aglomeração	acesso AC esc.3; escadas	acesso escadas	acesso esc.3	acesso ACs	acesso ACs
A1P1L0D3	58%	parcial	parcial	parcial	não	CETEP	não	aglomeração	aglomeração	acesso AC esc.3; esc.1	AC esc.1	escadas	acesso AC esc.1; circ. CETEP	acesso AC esc.1
A2P1L0D3	55%	total	parcial	parcial	não	CETEP	CETEA	aglomeração	aglomeração	acesso AC esc.3	AC esc.1	não	acesso ACs; circ. CETEP	acesso ACs
A3P1L0D3	52%	parcial	parcial	parcial	não	não	não	aglomeração	atraso	acesso AC esc.3	acesso esc.3	acesso esc.3	acesso ACs; circ. CETEP	acesso AC esc.3
A0P0L1D3	58%	parcial	parcial	parcial	*	*	*	*	*	acesso AC esc.3; esc.3	acesso escadas	AC esc.1; esc.1	acesso ACs; circ. CETEP	acesso ACs
A1P0L1D3	63%	parcial	parcial	parcial	*	*	*	*	*	acesso AC esc.3; esc.3	AC esc.1; esc.1	AC esc.1; esc.1	acesso AC esc.1; circ. CETEP	acesso AC esc.1
A2P0L1D3	59%	total	parcial	parcial	*	*	*	*	*	acesso AC esc.3; esc.3	AC esc.1; esc.1	AC esc.1; esc.1	acesso ACs; circ. CETEP	acesso ACs
A3P0L1D3	55%	parcial	parcial	parcial	*	*	*	*	*	acesso AC esc.3; esc.3	acesso esc.3	acesso esc.3	acesso ACs	acesso AC esc.3

Fonte: Elaborado pela autora.

O quadro 29 ilustra, em escala de cores, o percentual de ocupantes evacuados após 150 segundos do início do deslocamento. Os valores oscilam entre 41%, nos cenários A3P1L1D2 e A3P1L0D2, e 81%, no cenário A1P0L1D1. Observa-se que os cenários com a ampliação da porta das antecâmaras da escada 03 foram os que tiveram os percentuais mais elevados de ocupantes evacuados, demonstrando a efetividade da proposta.

Como aspecto positivo analisado nas simulações, o quadro 29 indica, por andar, a presença de ocupantes em área protegida, destacando em verde as situações em que foi possível todos os ocupantes estarem protegidos e em vermelho os casos em que nem todos os ocupantes atingiram área protegida no tempo de 150 segundos. Em todos os cenários, com exceção das simulações nas quais a escada 03 teve alteração da posição de descarga, o pavimento térreo apresentou resultado parcial, pois registrou ocupantes se deslocando em área desprotegida no trajeto após o uso da escada 03 até a saída de emergência 07. Em relação ao piso intermediário, nos casos com 704 ocupantes, os cenários com rampa e os casos com população padrão em projeto original e proposta de ampliação de porta das antecâmaras da escada 03 registraram totalidade de ocupantes protegidos. Nas simulações com 1042 e 1559 ocupantes, nenhum cenário garantiu a proteção de todos os ocupantes do piso intermediário. Relativamente ao pavimento superior, as simulações com 704 ocupantes apresentaram população protegida antes dos 150 segundos em todos os casos com população homogênea; com população heterogênea, apenas nos casos com projeto original e com ampliação de porta das antecâmaras da escada 03. Nos cenários com 1042 ocupantes, apenas as simulações com ampliação da porta de descarga da escada 03 resultaram em proteção de todos os ocupantes do piso superior. Nos casos com 1559 ocupantes, nenhum cenário garantiu a proteção total dos ocupantes do piso superior.

Entre os pontos críticos observados nas simulações, o quadro 29 destaca a presença de Brigadistas em espera, situação crítica de PCR e pontos de aglomeração/gargalos. Em relação à presença de Brigadistas à espera de serem convocados para auxiliar no transporte, os casos em que estes ocupantes aguardaram junto a saída de emergência 02 ocasionaram aglomeração nessa área de descarga. A espera dos Brigadistas no pavimento intermediário ocorreu em função dos ocupantes em Cadeira de Rodas encontrarem aglomeração ou atraso que não permitiu que atingissem as antecâmaras para solicitar auxílio. As duas situações críticas (aglomeração e atraso) por parte de ocupantes em Cadeira de Rodas influenciaram no percentual de ocupantes evacuados e no tempo total, principalmente nos casos de aglomeração de ocupantes PCR em antecâmaras, que dificultaram a circulação dos demais ocupantes e tardaram o chamado de auxílio dos brigadistas. O fato de os ocupantes em cadeira de rodas não utilizarem os Módulos de Referência disponíveis para espera junto à escada e apenas buscarem os Módulos das

antecâmaras reflete uma falha no comando da simulação, que difere do que se espera em caso real de evacuação. A avaliação dos gargalos apontou que a largura das portas ocasiona aglomerações e ocupantes com maior tempo de permanência em área de risco, sem proteção.

As propostas de alterações arquitetônicas simuladas buscaram abordar isoladamente estes pontos e possibilitar fuga com maior autonomia para ocupantes PCR, influenciando mais diretamente nas saídas 02 e 07. Os resultados mostram que a proposta de ampliação da largura das portas das antecâmaras da escada 03, de execução simples até mesmo depois de construída a edificação, foi a que teve melhor desempenho, atenuando as aglomerações causadas pelas portas estreitas.

A proposta de mudança da saída de descarga da escada 03 apresentou resultado mediano, pois serviu para eliminar o trajeto fora de área desprotegida no térreo, mas gerou alguns tempos totais de deslocamento mais elevados e poderia ser melhorada se considerasse também portas de antecâmara mais largas. No entanto, esta proposta exige maior alteração de projeto e é de difícil realização depois de a edificação ter sido construída. Além disso, por não ter feito parte da concepção do projeto original, pode descaracterizar a estética do prédio e obstruir parte da circulação de acesso aos dois elevadores junto ao *hall*.

A proposta de substituição da escada 01 por uma rampa externa também teve resultado mediano, apesar da validade conceitual como forma de proporcionar maior autonomia a ocupante PCR e menor dependência de brigadistas e equipamentos de transporte. Esta opção poderia ter sido conciliada com a manutenção da escada 01 como uma alternativa extra de rota de fuga e como um elemento a ser acrescido à edificação, às custas do uso de parte da área paisagística ao lado do prédio. Ainda poderia ter sido considerada a manutenção de brigadistas para transporte de ocupantes PCR na escada 03, pois assim se evitaria o cruzamento pelas áreas de recepção e os trajetos mais extensos, permitindo acesso mais rápido à área segura e oferecendo duas alternativas de descida.

A opção pela rampa, nesta pesquisa testada apenas para um dos lados do prédio, em função da área disponível, poderia ter feito parte da concepção do projeto da edificação, mas foi priorizado o uso de elevador como forma alternativa ao acesso por escadas. Neste caso, poderia ter sido aventada a opção por, no mínimo, um elevador de emergência.

Tendo em vista o projeto existente e a obra em andamento, considera-se que a segurança dos ocupantes da FCEE possa ser aprimorada com a proposta de ampliação das portas da antecâmara da escada 03 e com a formação e treinamento de pessoal para constituição de brigada que possa realizar testes práticos sobre a melhor forma de acompanhar ou transportar ocupantes em caso de emergência.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto arquitetônico compreende a relação entre ambiente, usuário e atividade. Um projeto acessível considera projetar de forma inclusiva, pensando na segurança e na qualidade de vida para toda a diversidade humana. Nesta pesquisa, através do cruzamento da fundamentação teórica com os exercícios de simulação de evacuação combinando variações arquitetônicas e populacionais, foi possível observar o resultado de alterações projetuais de maior e menor impacto em um projeto existente. O presente capítulo apresenta as considerações finais do trabalho, divididas em: considerações sobre os procedimentos de pesquisa, conclusões gerais do trabalho e recomendações para futuras pesquisas.

6.1 PROCEDIMENTOS DE PESQUISA

A escolha pelo emprego da simulação computacional de evacuação permitiu estimar tempos de deslocamento e dinâmica de movimento para abandono de ambientes. A avaliação do desempenho das rotas de fuga priorizou a redução nos tempos de deslocamento, independentemente do tipo de incêndio, pois não foi realizada a simulação de dinâmica do fogo (ASET). O foco foi a fase de deslocamento, mesmo que esta tenha sido influenciada por um tempo de pré-movimento resultante da espera por auxílio, no caso de determinados tipos de ocupantes. Os dados obtidos nas simulações contribuem para compor o RSET em uma análise de engenharia de SCI.

A etapa de calibragem de variáveis para composição de dados de entrada em estudo de caso serviu para confirmar informações obtidas na pesquisa bibliográfica, bem como a possibilidade da representação de pessoas com limitações funcionais e fuga assistida no *software* Pathfinder. Alguns ajustes podem ser feitos pelo próprio operador do programa para obter melhores resultados e algumas ferramentas devem ser aprimoradas pelo *software*.

Entre os ajustes verificados na calibragem, foi identificado que alguns perfis tiveram CV elevado, o que demanda revisão no número de randomizações para avaliação do descarte de valores extremos. Nesses casos, é importante lembrar que os dados de velocidades foram obtidos de referências internacionais e que estas citam limitações de estudos sobre determinados perfis. Na escolha dos perfis para o estudo de caso, após a calibragem, optou-se por priorizar características que pudessem compor a população esperada para FCEE, sendo necessário

considerar a presença de ocupantes acompanhados, entre eles o perfil Lento Assistido, para representar ocupantes com marcha lenta por limitação funcional visual ou de mobilidade, sem dispositivo auxiliar. Aceitou-se o risco do CV elevado para este perfil, em função da amplitude dos valores de velocidades estimados para este perfil, que pode acumular baixa velocidade com maior trajeto e assim resultar em maior tempo de deslocamento, além do tempo inicial para encontro entre acompanhante e acompanhado.

Outro ajuste a ser realizado, preferencialmente com dados de experimentos práticos, refere-se a meios de transporte de ocupantes e tempo de preparação, visto que, no presente estudo, não foi simulado carregamento manual e esta pode ser a opção mais utilizada, por não demandar equipamentos específicos.

Em relação ao estudo da variável *Layout*, apesar dos ajustes necessários para garantir que nenhum ocupante ficasse preso devido à geometria estreita, ao analisar as áreas de circulação não foi possível inferir a este respeito, pois o mobiliário foi inserido apenas no interior das salas, e a avaliação deveria ser realizada para cada sala de forma individualizada ou deveria ter sido feito acréscimo de elementos na própria área de circulação, como pilares e lixeiras.

Para o estudo de caso com projeto de um prédio para FCEE, foi necessário calcular possíveis configurações de densidade, visto que não foi encontrada esta informação no PPCI disponível (Edital SC SIE 0193-2021). Adotou-se então a possibilidade de três lotações para o prédio, sendo a inicial estimada em função do programa de necessidades e as outras duas densidades ajustadas conforme dados de lotação indicados pela IN 09 CBMSC. Esses arranjos resultaram em aumento estimado de cerca de 50% acumulado entre cada configuração de densidade populacional estudada e permitiram avaliar o impacto da densidade na evacuação, chegando a apresentar caso extremo de superlotação na maior densidade. A composição demográfica feita ambiente por ambiente gerou configurações diferenciadas de uso de escada em cada densidade, o que afetou a comparação entre o tempo de deslocamento entre escadas e saídas de emergência, mas ainda permitiu avaliar o impacto das alterações arquitetônicas e da presença de ocupantes com limitações funcionais. Outro aspecto considerado na formulação das simulações do estudo de caso foi a distribuição dos Brigadistas a partir dos ambientes com maior densidade, sem levar em conta a localização dos ocupantes que necessitam ser transportados. Este posicionamento inicial dos Brigadistas teve consequência nas simulações e deve ser mais bem desenvolvido.

No que se refere a perfis associados a fuga assistida simulados no projeto da FCEE, foi registrado que alguns Acompanhantes e Brigadistas ficaram em espera por tempo elevado

e, por vezes, se posicionaram obstruindo passagem de outros ocupantes. Ocupantes PCR, da mesma forma, geraram obstruções no trajeto em cenários onde se acumularam em antecâmaras, em vez de buscarem área de módulo de referência junto à escada. Estes comportamentos influem no tempo de evacuação e, portanto, deve ser avaliado se correspondem a situações reais registradas em evacuações.

Ainda em relação ao estudo de caso, foi verificado que propostas de alteração arquitetônica para a escada 03 geraram simulações com resultados nos quais a escada 01 também teve variação, apesar do grupo de ocupantes de cada escada ser independente. Nesses casos, assim como feito na calibragem das variáveis de entrada, recomenda-se que sejam rodadas mais simulações com randomização, para avaliação de CV e possibilidade de descarte de valores extremos.

6.2 CONCLUSÕES GERAIS

Os dados apresentados e formulados neste trabalho buscaram reunir conceitos gerais, fundamentais para a concepção de saídas de emergências seguras. Velocidade e área projetada são fatores a serem considerados no projeto da rota de fuga, pois tempos de evacuação muito elevados resultam incompatíveis com a segurança dos ocupantes, que podem incluir pessoas com limitações funcionais temporárias ou permanentes e que necessitem de auxílio para a fuga. A análise das simulações realizadas ateu-se ao tempo de deslocamento para fuga, não englobando outros tempos que compõem o RSET e estão indiretamente relacionados à configuração espacial arquitetônica, como alarmes, sinalização e iluminação de emergência que são integrados e fundamentais nas rotas de fuga. No caso da calibragem das variáveis de entrada, a avaliação foi independente do tipo de ocupação da edificação, enquanto que, no estudo de caso com FCEE, o tipo de ocupação foi considerado e problematizado.

As simulações demonstraram que distância e tempo total de deslocamento podem não ser diretamente proporcionais, em função de congestionamentos no fluxo da evacuação. Tanto o aumento da densidade quanto a presença de ocupantes com limitação funcional, em geral, ampliaram o tempo total de deslocamento. Estas ampliações no tempo de deslocamento demandam maior atenção a SMSCI, sendo importante avaliar o tempo de evacuação comparativo entre diferentes perfis de ocupantes, para verificar quais os últimos a abandonar a edificação, de forma a avaliar se poderiam ter recebido outro tipo de auxílio. Nos cenários com PCR e mais de um pavimento, a distância percorrida foi ampliada em função da necessidade de Brigadistas irem e voltarem para auxiliar no transporte ou pela opção de uso de rampa. Os perfis

Brigadistas e Cadeira de Transporte foram os com tempo total de deslocamento mais elevado, visto que demandam tempo de espera, preparo e retorno de Brigadista.

Os resultados das simulações apontaram como positivo para redução do tempo total de deslocamento a simples ampliação na largura de portas e, para casos de circulação vertical, indicaram a importância de áreas protegidas para espera de pessoas que não tenham autonomia para fuga por escadas e necessitem auxílio quando estas representam a única forma de escape vertical.

Em relação à rota horizontal de fuga, as simulações apontaram que a largura de passagem das áreas de circulação é importante para permitir a passagem e manobra de pessoas com dispositivos auxiliares de locomoção e pessoas com necessidade de acompanhamento ou carregamento por outra(s) pessoa(s). No entanto, a largura da circulação deve ser acompanhada de largura compatível para a porta de descarga (saída final para o exterior), que foi considerado o fator primordial nas simulações, visto que influi efetivamente no tempo de deslocamento, podendo ocasionar congestionamentos e aglomeração que dificultam o abandono das pessoas quando são reduzidas em relação à largura da circulação. Foi verificado que o congestionamento em circulação larga junto à descarga estreita amplia o tempo total de deslocamento, resultando pior que em circulações mais estreitas com mesmo tamanho de porta de saída. O mesmo se reflete em relação à porta de acesso à área protegida, onde a largura da porta influi na passagem por antecâmaras. A largura de passagem das portas pode ser composta por mais de uma porta e, conforme a disposição, contribui ainda mais para redução do tempo de evacuação, ao minimizar gargalos e formação de congestionamentos.

No que se refere a rotas de fuga verticais, o destaque foi a implantação de áreas seguras (área de resgate ou refúgio) para espera dos ocupantes em local protegido, evidenciando a diferença entre o tempo de evacuação do edifício, do andar e o tempo de acesso até a área segura. A área de relativa segurança permite que ocupantes sejam protegidos mais rapidamente através de trajetos mais curtos, que permitem a continuidade do abandono com maior segurança e disponibilidade de tempo, considerando a espera, o preparo e o início de auxílio em local resguardado. A disposição de mais de uma rota de fuga vertical apresenta redução significativa do tempo de deslocamento e oferece alternativa para situações em que o sinistro obstrua o acesso a alguma das rotas. Outro ponto observado foi referente à descarga das rotas de fuga verticais diretamente para a área externa, o que evita a passagem por área desprotegida no piso de descarga e contribui para que o ocupante mantenha a proteção dentro da edificação por mais tempo, até o abandono total do imóvel.

No estudo de caso com a FCEE, para o qual foram geradas três composições de densidade, vale destacar que a lotação de 1559 ocupantes foi um cenário extremo, de alta densidade, que não deve ser a rotina da FCEE, e que, aos 150 segundos do início do movimento, os cenários com 1042 ocupantes foram os que apresentaram menor percentual de evacuados. Em relação ao projeto original da FCEE, foi considerada positiva a locação do CENER e CENAE no térreo, visto nestes centros há probabilidade de mais ocupantes com limitação de movimento e a diversidade (quantidade e posicionamento) de saídas disponíveis no pavimento permitiu a rápida evacuação horizontal do piso por ocupantes que iniciaram no térreo, independentemente de limitação funcional. Outro aspecto positivo do projeto original da FCEE são as áreas de circulação largas e as escadas protegidas largas com antecâmaras de tamanho razoável para comportar ocupantes em espera por auxílio, mesmo que não indicado especificamente no PPCI. Entre as três propostas de alteração arquitetônica para reduzir o tempo de deslocamento de pessoas com limitação no novo prédio da FCEE, a opção com melhor desempenho foi a ampliação das portas da antecâmara da escada 03, que pode ser executada mesmo com a edificação construída, pois exige menor intervenção. Junto a esta proposta, foi registrada a importância da existência de pessoas treinadas e capacitadas dispostas em locais estratégicos para auxiliar no acompanhamento e transporte de ocupantes que necessitem auxílio.

O emprego da simulação computacional possibilita gerar conhecimentos que podem impulsionar e subsidiar alterações em regulamentações técnicas relacionadas ao dimensionamento de saídas de emergência, assim como em orientações sobre gerenciamento de risco em planos de emergência, promovendo maior segurança aos ocupantes. Na presente pesquisa, a simulação com estudo de caso contribuiu para questionar o enquadramento e as exigências para o novo prédio da FCEE, que em parte se assemelha a classificação E6 e em parte a H6, sendo que estas ocupações possuem índices diferentes para coeficientes de densidade, capacidade de passagem, exigência de tipo de escada e distâncias máximas percorridas. Foi simulada variação da lotação do prédio para indicação do impacto de diferentes densidades, visto que se trata de um fator delimitado em função do tipo de ocupação e que influi no dimensionamento prescritivo das saídas de emergência.

Para que possa diminuir falhas de eficiência, modelar e promover ajustes nos projetos arquitetônicos e de SCI, oferecendo maior segurança e autonomia nos procedimentos de fuga, o uso da simulação computacional necessita calibrar uma grande quantidade de dados específicos sobre o tempo das ações de cada passageiro individual e em grupos. É imprescindível gestão e treinamento de pessoal para auxílio durante a evacuação. Nesse sentido,

a simulação computacional pode contribuir para o gerenciamento de risco em planos de emergência, em treinamentos e em gestão em relação à quantificação de pessoas capacitadas e treinadas para auxiliar ocupantes vulneráveis durante uma situação de emergência que demande o abandono de edificação.

Espera-se, com esta pesquisa, chamar atenção para o tema e contribuir para a oferta de melhores, mais efetivas e seguras condições de movimentação de pessoas durante uma evacuação emergencial, minimizando riscos e consequências de acidentes.

6.3 RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

No decorrer do desenvolvimento desta pesquisa, não se buscaram esgotar as discussões do tema sobre a influência da arquitetura acessível para a redução do tempo total de deslocamento em rotas de fuga, mas sim identificar e demonstrar algumas das possibilidades que podem ser simuladas e seus impactos. Novas pesquisas podem contemplar formas diversas de assistência para fuga assistida, análise de tempos de pré-movimento, associação RSET e ASET, assim como consolidação de resultados, através de simulados, *walkthroughs*, passeios acompanhados, entrevistas e questionários com usuários de edificações ocupadas por pessoas que apresentem limitações funcionais temporárias ou permanentes.

A calibragem de variáveis, nesta pesquisa, foi realizada com variáveis isoladas, assim como no estudo de caso. Para aprimorar a compreensão da interação entre as variáveis, seria interessante complementar este trabalho avaliando cenários com combinações entre os parâmetros mais críticos (maior tempo de evacuação), em função das características populacionais, com as alternativas projetuais arquitetônicas que apresentaram maior redução no tempo de evacuação.

Como possibilidades de variações a serem simuladas para a FCEE, podem ser consideradas: enclausurar a escada simples; inserir uma área maior de refúgio para espera de auxílio na descida de escadas; variar o tipo de transporte de ocupante em escada para carregamento de forma manual ou transporte em cadeira de rodas; variar o número de brigadistas para auxílio no transporte; considerar mais de um acompanhante para ocupantes ambulantes, conforme o tipo de limitação funcional.

Além dessas sugestões, espera-se que este trabalho instigue novos projetos e pesquisas, reunindo cada vez mais pessoas na construção de ambientes mais inclusivos e seguros.

REFERÊNCIAS

ABOLINS, H. A.; BIANCHINI, F. J.; NOMELLINI, L. H. Saídas de emergência em edificações. In: SEITO, A. I. (Org.). **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008. p.101-121.

ALVES, A. B. C. G.; CAMPOS, A. T.; BRAGA, G. C. B. Simulação Computacional de Incêndio Aplicada ao Projeto de Arquitetura. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL NUTAU'2008 – Espaço Sustentável: Inovações em Edifícios e Cidades, 2008, Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo. **Anais do [...]**. Disponível em: <https://www.usp.br/nutau/CD/71%20196.pdf>. Acesso em: 1 out. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9050**: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

BARROS, B.; FARIAS, T.; SILVA JÚNIOR, J. A. Edificações públicas adaptadas: um estudo de caso da circulação horizontal. In: ENCONTRO NACIONAL DE ERGONOMIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7. / SEMINÁRIO BRASILEIRO DE ACESSIBILIDADE INTEGRAL, 8., 2-4 maio 2018, Fortaleza, CE. **Anais do [...]**. p. 1331-1342. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br/designproceedings/eneac2018/111.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2022.

BOYCE, K. E.; SHIELDS, T. J.; SILCOCK, G. W. H. Toward the characterization of building occupancies for fire safety engineering: Prevalence, type, and mobility of disabled people. **Fire Technology**, v. 35, n. 1, p. 35-50, Feb. 1999.

BOYCE, K. Safe evacuation for all – Fact or Fantasy? Past experiences, current understanding and future challenges. **Fire Safety Journal**, v. 91, p. 28-40, Jul 2017.

BRAGA, G. C. B. Simulação computacional aplicada à segurança contra incêndio. In: COSTA, C. N.; CAMPOS, I. M.; COSTA, J. L. R. da; SANTOS, J. M.; SILVA, S. B. da (Orgs.). **SCIER: Segurança Contra Incêndio em Edificações: Recomendações**. 2ª ed. Vitória, ES: Firek, 2018. p. 159-172. Disponível em: <http://www.firek.com.br/scier>. Acesso em: 4 mar. 2021.

BRASIL. **Lei Nº 13.146**, de 6 de julho de 2015. Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência). Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/113146.htm. Acesso em: 12 mar. 2020.

BRUCK, D.; THOMAS, I. R. Alarmes de fumaça para adultos adormecidos com deficiência auditiva: comparação de sinais auditivos, visuais e táteis. **Ear and Hearing**, v. 30, n. 1, p. 73-80, Feb. 2009. Disponível em: https://journals.lww.com/ear-hearing/Fulltext/2009/01000/Smoke_Alarms_for_Sleeping_Adults_Who_are.9.aspx. Acesso em: 14 jul. 2022.

BUKOWSKI, R. W. Egress concepts and design approaches. *In*: HURLEY, M. J.; GOTTUK, D.; HALL, J. R.; HARADA, K.; KULIGOWSKI, E.; PUCHOVSKY, M.; TORERO, J.; WATTS, J. M.; WIECZORECK, C. (Eds.) **SFPE Handbook of Fire Protection Engineering**, 5th ed. New York: Springer, 2016. p. 2012-2046.

BUKVIC, O.; CARLSSON, G.; GEFENAITE, G.; SLAUG, B. *et al.* A review on the role of functional limitations on evacuation performance using the International Classification of Functioning, Disability and Health. **Fire Technology**, v. 57, n. 2, p. 507-528, Mar 2021.

BUTLER, K. M.; FURMAN, S. M.; KULIGOWSKI, E. D.; PEACOCK, R. D. Perspectives of occupants with mobility impairments on fire evacuation and elevators. **NIST Technical Note 1923**. [s. l.]: National Institute of Standards and Technology 2016.

CANCELLIERE, P.; LOMBARDI, M.; PONTICELLI, L.; GISSI, E.; GAI, G.; CACIOLAI, M. Italian hybrid fire prevention code. **Safety and Security Engineering**, v. VII, p. 107-117, 2018. Disponível em: <https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-the-built-environment/174/36506>. Acesso em: 20 out. 2021.

CARATTIN, E; TATANO, V. To areas of refuge and beyond: proposals for improving egressibility for the disabled. A case study in Italy. *In*: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON HUMAN BEHAVIOUR IN FIRE, 6., 28-30 Sep. 2015, Cambridge, UK. **Proceedings [...]**. p. 257–268. Disponível em: https://air.iuav.it/bitstream/11578/255665/2/CARATTIN_Elisabetta_AreasofrefugeHumanBehaviourinfireinternationalsymposium2015.pdf. Acesso em: 17 ago. 2021.

CHRISTENSEN, K.; SASAKI, Y. Agent-based emergency evacuation simulation with individuals with disabilities in the population. **JASSS – The Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, v. 11, n. 3, p. 13, Jun 2008.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA – CBMSC. **Instrução Normativa 9**: Saídas de Emergência. 4^a ed., de 23 dez. 2021. Disponível em: <https://documentoscmbmsc.cbm.sc.gov.br/uploads/d0c877651e9a920683801fce1f443eaa.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2022.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA – CBMSC. **Nota Técnica nº 58**, de 26 de novembro de 2020. Altera a IN 9/DSCI/CBMSC. Disponível em: <https://documentoscmbmsc.cbm.sc.gov.br/uploads/4dade1c8d6ed6a5ed99888448fb17c54.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2022.

CUESTA, A.; RONCHI, E.; GWYNNE, S. M. V.; KINSEY, M. J.; HUNT, A. L. E.; ALVEAR, D. School egress data: comparing the configuration and validation of five egress modelling tools. **Fire and Materials**, v. 41, n. 5, p. 535-554, Aug-Sep 2017.

DINENNO, P. J.; DRYSDALE, D.; BEYLER, C. L.; WALTON, W. D.; CUSTER, R. L. P.; HALL, J. R.; WATTS, J. M.; NFPA; SFPE. **SFPE Handbook of Fire Protection Engineering**. 3rd ed. Quincy, Ma.; Bethesda, Md.: National Fire Protection Association; Society of Fire Protection Engineers, 2002.

DISCHINGER, M.; BINS ELY, V. H. M.; PIARDI, S. M. G. **Promovendo acessibilidade espacial nos edifícios públicos**: Programa de Acessibilidade às Pessoas com Deficiência ou Mobilidade Reduzida nas Edificações de Uso Público. 1ª ed. Florianópolis: MPSC, 2014. Disponível em: <https://documentos.mpsc.mp.br/portal/manager/resourcesDB.aspx?path=377>. Acesso em: 15 maio 2020.

DRURY, J.; COCKING, C. **The mass psychology of disasters and emergency evacuations**: A research report and implications for practice. Brighton: University of Sussex, 2007. Disponível em: [http://www.sussex.ac.uk/affiliates/panic/Disasters%20and%20emergency%20evacuations%20\(2007\).pdf](http://www.sussex.ac.uk/affiliates/panic/Disasters%20and%20emergency%20evacuations%20(2007).pdf). Acesso em: 10 mar. 2019.

COHEN, R.; DUARTE, Cristiane R. S. Proposta de metodologia de avaliação da acessibilidade aos espaços de Ensino Fundamental. **Cadernos do PROARQ (UFRJ)**, v. 10, p. 129-136, 2006.

DESHPANDE, N.; METTER, E. J.; BANDINELLI, S.; GURALNIK, J.; FERRUCCI, L. Gait speed under varied challenges and cognitive decline in older persons: A prospective study. **Age and Ageing**, v. 38, n. 5, p. 509-514, Sep. 2009.

DUARTE, R. B.; ONO, R.; SILVA, S. B. **Problemática de incêndios em edifícios altos**. São Paulo, SP: Ed. do Autor, 2021. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/70785/Problematica%20de%20incendio%20em%20edificios%20altos.pdf>. Acesso em: 12 set. 2022.

FARIA, Marcos Monteiro de. Projeto de segurança contra incêndio. *In*: In: COSTA, C. N.; CAMPOS, I. M.; COSTA, J. L. R. da; SANTOS, J. M.; SILVA, S. B. da (Orgs.). **SCIER**: Segurança Contra Incêndio em Edificações: Recomendações. 2ª ed. Vitória, ES: Firek, 2018. 81-94. Disponível em: <http://www.firek.com.br/scier>. Acesso em: 4 mar. 2021.

FITZPATRICK, A. L.; BUCHANAN, C. K.; NAHIN, R. L.; DEKOSKY, S. T.; ATKINSON, H. H.; CARLSON, M. C.; WILLIAMSON, J. D. Associations of gait speed and other measures of physical function with cognition in a healthy cohort of elderly persons. **The Journals of Gerontology**, Series A, v. 62, n. 11, p. 1244–1251, Nov. 2007.

FRIDOLF, K., ANDRÉE, K., NILSSON, D., FRANTZICH, H. The impact of smoke on walking speed. **Fire Materials**, v. 38, n. 7, p. 744–759. Oct. 2014.

FURUKAWA, Y.; TSUCHIYA, S.; INAHARA, S.; HASEMI, Y. Reproducibility of group evacuation behavior of the elderly by subjects wearing elderly simulator. *In*: ASIA-OCEANIA SYMPOSIUM ON FIRE SCIENCE AND TECHNOLOGY, 20-22 Sep. 2007, Hong Kong. **Proceedings [...]**. Disponível em: https://publications.iafss.org/publications/aofst/7/116/view/aofst_7-116.pdf. Acesso em: 20 nov. 2022.

GEOERG, P.; BERCHTOLD, F.; GWYNNE, S.; BOYCE, K.; HOLL, S.; HOFMAN, A. Engineering egress data considering pedestrians with reduced mobility. **Fire and Materials**, v. 43, n. 7, p. 759-781, Nov. 2019.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5ª ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GISSI, E.; RONCHI, E.; PURSER, D. A. Transparency vs magic numbers: The development of stair design requirements in the Italian Fire Safety Code. **Fire Safety Journal**, v. 91, p. 882-891, Jul. 2017.

GRANDISON, A. Determining confidence intervals, and convergence, for parameters in stochastic evacuation models. **Fire Technology**, v. 56, n. 5, p. 2137-2177, Sep. 2020.

HASHEMI, M.; KARIMI, H. A. Indoor spatial model and accessibility index for emergency evacuation of people with disabilities. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 30, n. 4, Jul. 2016.

HOUSTON, N.; EASTON, A. V.; HAMILTON, B. A.; DAVIS, E. A.; PHILLIPS, B. D.; LECKNER, M. **Routes to effective evacuation planning primer series: Evacuating populations with special needs**. Washington: U. S. Department of Transportation, 2009.

HUNT, A. L. E.; GALEA, E. R.; LAWRENCE, P. J. An analysis and numerical simulation of the performance of trained hospital staff using movement assist devices to evacuate people with reduced mobility. **Fire and Materials**, v. 39, n. 4, p. 407-429, 2015.

HUNT, A. L. E.; GALEA, E. R.; LAWRENCE, P. J.; FROST, I. R.; GWYNNE, S. M. V. Simulating movement devices used in hospital evacuation. **Fire Technology**, v. 56, n. 5, p. 2209-2240, Sep. 2020.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saúde (PNS): 2019: ciclos de vida: Brasil / IBGE**. Coordenação de Trabalho e Rendimento. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

ISO – International Organization for Normalization. **Fire-safety engineering – Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people**. ISO/TR 16738:2009. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:tr:16738:ed-1:v1:en>. Acesso em: 12 ago. 2022.

KECKLUND, L.; ANDRÉE, K.; BENGSTON, S.; SIRÉ, E. How do people with disabilities consider fire safety and evacuation possibilities in historical buildings? – A Swedish case study. **Fire Technology**, v. 48, n. 1, p. 27-48, Jan. 2012.

KIKKERT, L. H. J.; VUILLERME, N.; VAN CAMPEN, J. P.; HORTOBÁGYI, T.; LAMOTH, C. J. Walking ability to predict future cognitive decline in old adults: A scoping review. **Ageing Research Reviews**, v. 27, p. 1-14, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1568163716300095?via%3Dihub>. Acesso em: 20 mar. 2021.

KINATEDER, M. T.; KULIGOWSKI, E. D.; RENEKE, P. A.; PEACOCK, R. D. Risk perception in fire evacuation behavior revisited: definitions, related concepts, and empirical evidence. **Fire Science Reviews**, v. 4, n. 1, p. 1-26, Jan. 2015. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5012356/>. Acesso em: 5 dez. 2021.

KINSEY, M. J.; GALEA, E. R.; LAWRENCE, P. J. Human factors associated with the selection of lifts/elevators or stairs in emergency and normal usage conditions. **Fire Technology**, v. 48, n. 1, p. 3-26, Jan. 2012.

- KOO, J.; KIM, B.; KIM, Y. S. Estimating the effects of mental disorientation and physical fatigue in a semi-panic evacuation, **Expert Systems with Applications**, v. 41, n. 5, p. 2379-2390, 2014.
- KULIGOWSKI, E. D.; GWYNNE, S.; KINSEY, M. J.; HULSE, L. Guidance for the model user on representing human behavior in egress models. **Fire Technology**, v. 53, p. 649-672, 2017.
- KULIGOWSKI, E. D., PEACOCK, R. D.; AVERILL, J. D. Modeling the Evacuation of the World Trade Center towers on September 11, 2001. **Fire Technology**, v. 49, p. 65–81, 2013.
- KULIGOWSKI, E. D.; PEACOCK, R. D.; HOSKINS, B. L. **Review of building evacuation models**. 2nd ed. Technical Note 1680. Gaithersburg, Md: National Institute of Standards and Technology, 2010.
- LARSSON, A.; RANUDD, E. ; RONCHI, E. ; HUNT, A.; GWYNNE, S. The impact of crowd composition on egress performance. **Fire Safety Journal**, v. 120, Mar. 2021.
- LAVENDER, S. A.; HEDMAN, G. E; MEHTA, J. P.; REICHEL, P. A.; CONRAD, K. M.; PARK, S. Evaluating the physical demands on firefighters using hand-carried stair descent devices to evacuate mobility-limited occupants from high-rise buildings. **Applied Ergonomics**, v. 45, n. 3, p. 389-397, 2014.
- LIMA, M. L. T. de F. **Esvaziamento emergencial de locais ocupados por pessoas com mobilidade reduzida**: estudo aplicado a edificações hospitalares. 2017. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Santa Catarina Disponível, Florianópolis, 2017.
- LOVREGLIO, R; RONCHI, E.; KINSEY, M. J. An online survey of pedestrian evacuation model usage and users. **Fire Technology**, v. 56, p. 1133-1153, 2020.
- MANLEY M.; KIM, Y. S. Modeling emergency evacuation of individuals with disabilities (exitus): An agent-based public decision support system. **Expert System with Applications**, vol. 39, n. 9, p. 8300-8311, Jul. 2012.
- MARTINS, D. D. S.; RODRIGUES, A. C. L.; BRAGA, G. C. B. Modelagem computacional da dinâmica de evacuação em locais de reunião de público. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 3, p. 147-164, 2019.
- MCCONNELL, N. C.; BOYCE, K. E. Refuge areas and vertical evacuation of multistorey buildings: the end users' perspectives. **Fire and Materials**, v. 39, n. 4, p. 396-406, Jun. 2015.
- NASCIMENTO, K. S.; SOUZA, J. C. Acessibilidade e segurança na evacuação em caso de incêndio envolvendo pessoas com deficiência. **Flammae**, v. 5, n. 12, p. 121-142, 2019.
Disponível em:
https://www.revistaflammae.com/_files/ugd/08765e_b429edaa4b614549b3112d8edd7793a6.pdf. Acesso em: 20 mar. 2020.
- NAPPI, M. M. L.; MOSER, I. R.; SOUZA, J. C. Avaliação do tempo de evacuação de salas de aula com diferentes soluções de projeto. **Estação Científica (UNIFAP)**, v. 9, p. 39-49, 2019.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION – NFPA. **Emergency evacuation planning guide for people with disabilities**. [s. l.]: NFPA, 2016. Disponível em: <https://www.nfpa.org/-/media/Files/Public-Education/By-topic/Disabilities/EvacuationGuidePDF.ashx>. Acesso em: 10 nov. 2022.

NBS BUILDING REGULATIONS. **Approved Document B to the Building Regulations: Fire Safety**. London: Department of Communities and Local Government, 2006.

NEGRISOLO, Walter. A caracterização do “perfil de risco de incêndio” no Brasil e a nova minuta da NBR 9077/2018 – saída de emergência em edifícios. In: COSTA, C. N.; CAMPOS, I. M.; COSTA, J. L. R. da; SANTOS, J. M.; SILVA, S. B. da (Orgs.). **SCIÉR: Segurança Contra Incêndio em Edificações: Recomendações**. 2ª ed. Vitória, ES: Firek, 2018. p. 52-65. Disponível em: <http://www.firek.com.br/scier>. Acesso em: 4 mar. 2021.

ONO, R. **O impacto do método de dimensionamento de saídas de emergência sobre o projeto arquitetônico de edifícios altos: uma análise crítica e proposta de aprimoramento**. 2010. Tese (Livre-Docência em Arquitetura e Urbanismo) – Departamento de Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

ONO, R. Organização dos espaços dos edifícios. In: SILVA, V. P. e; SILVA, A. A. da; CÂNDIDO, A. Q.; ARMANI, C. R.; FRANCO, D. de O.; VALENTIM, J. A.; CORRÊA, L. C. D’O.; MITIDIÉRI, M. L.; FÁRIA, M. M. de; MIRANDA, N.; ONO, R.; AMARAL, R.; PEREIRA, W.; NEGRISOLO, W. (Orgs.). **Fundamentos de segurança contra incêndio em edificações: proteção passiva e ativa: FSCIE-PPA**. São Paulo: Fundabom; Firek, 2019. p. 23-40.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Relatório mundial sobre a deficiência (World Report on Disability)**. Trad. Lexicus Serviços Linguísticos. São Paulo: SEDPcD, 2012.

PAN, H.; ZHANG, J.; MA, W. Simulation of pedestrian flow mixed with wheelchair users in funnel-shaped bottlenecks based on Pathfinder. In: RSVT 2020: 2020 INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROBOTICS SYSTEMS AND VEHICLE TECHNOLOGY, 2., 3-5 Dec. 2020, Xiamen, China. **Proceedings [...]**. p. 83–88. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3450292.3450306>. Acesso em: 12 nov. 2022.

PASSINI, R.; PIGOT, H.; RAINVILLE, C.; TÉTREAULT, M.-H. Wayfinding in a nursing home for advanced dementia of the Alzheimer’s type. **Environment and Behavior**, v. 32, n. 5, p. 684–710, 2000.

PINTO, E. M.; MONTENEGRO, M. L. O. Emergency exits: Analysis and reflection based on a modelling and standardization study. In PILOTO, P. A. G.; RODRIGUES, J. P.; SILVA, V. P. (Eds.) **Advances in fire safety engineering**. [s. l.]: Springer, 2020. p. 107-120.

PROULX, G. **Evacuation Planning for Occupants with Disability**. Internal Report No. 843. Ottawa: Fire Risk Management Program; Institute for Research in Construction; National Research Council Canada; 2002. Disponível em: <https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/ft/?id=3dc0fc00-e0f0-403f-9f5a-adac7edd7ca3>. Acesso em: 14 maio 2022.

PURSER, D. A. ASET and RSET: Addressing some issues in relation to occupant behavior and tenability. **Fire Safety Science**, n. 7, p. 91-102, 2003.

ROBBINS, A. P.; BUCKETT, N. R. **Accessible emergency egress: Literature review and scoping study**. Study report 318. Judgeford, New Zealand: BRANZ, 2014.

RODRIGUES, E. E. C. **Sistema de gestão da segurança contra incêndio e pânico nas edificações: fundamentação para uma regulamentação nacional**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/142695>. Acesso em: 15 set. 2021.

RODRIGUES, J. C. M.; BERNARDI, N. A ABNT NBR 9050: A difusão da acessibilidade pela Norma. *In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ERGONOMIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 8. / *ENCONTRO BRASILEIRO DE ACESSIBILIDADE INTEGRAL*, 9., 13-15 maio 2020, Natal, RN. **Anais do [...]**. p. 250-264. 2020. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br/designproceedings/eneac2020/27.pdf>. Acesso em: 10 out. 2022.

ROMANO, G.; PORCU, A., MANSELLI, L.; BATTAGLIA, M.; ZANUT, S. Ergonomics and emergency response: An inclusive approach. *In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ERGONOMICS ASSOCIATION (IEA 2018)*, 20., 26-30 Aug. 2018, Florence, Italy. BAGNARA, S.; TARTAGLIA, R.; ALBOLINO, S.; ALEXANDER, T.; FUJITA, Y. (Eds.). **Proceedings [...]**. [s. l.]: IEA, 2018. p. 1593-1600.

RONCHI, E. *et al.* New approaches to evacuation modelling for fire safety engineering applications. **Fire Safety Journal**, v. 106, p. 197-209, Jun. 2019.

RONCHI, E., COLONNA, P.; BERLOCO, N. Reviewing Italian fire safety codes for the analysis of road tunnel evacuations: Advantages and limitations of using evacuation models. **Safety Science**, v. 52, p. 28-36. Feb. 2013.

SAMOSHIN, D.; ISTRATOV, R. The characteristics of blind and visually impaired people evacuation in case of fire, **Fire Safety Science**, v. 11, p. 1160-1169, 2014.

SEITO, A. I. S.; GILL, A. A.; PANNONI, F. D.; ONO, R.; SILVA, S.; DEL CARLO, U.; PIGNATTA E SILVA, V. (Coord.). **A Segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto, 2008.

SHARMA, Y.; SAJID, W.; MARQUEZ-CHIN, C.; ROBERTS, B. W. R.; AL BOCHI, A.; PONG, S.; WEILER, M.; VETTE, A. H.; DUTTA, T. Revising recommendations for evacuating individuals with functional limitations from the built environment. *In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ERGONOMICS ASSOCIATION (IEA 2021)*, 21., 14-18 Jun. 2021, [Online]. **Proceedings [...]**. p. 350-356. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-74605-6_44. Acesso em: 4 abr. 2022.

SHINOZAKI, M.; SEKIZAWA, A.; KOBAYASHI, K.; SASAKI, K. International comparative analysis on regulatory provisions and codes of fire evacuation safety for physically challenged people. **Bulletin of Japan Association for Fire Science and Engineering**, v. 66, n. 2, p. 21-30, 2016.

SILVA, A. A. da; CORRÊA, L. C. D'O. Saídas de Emergência. *In*: SILVA, V. P. e; SILVA, A. A. da; CÂNDIDO, A. Q.; ARMANI, C. R.; FRANCO, D. de O.; VALENTIM, J. A.; CORRÊA, L. C. D'O.; MITIDIÉRI, M. L.; FARIA, M. M. de; MIRANDA, N.; ONO, R.; AMARAL, R.; PEREIRA, W.; NEGRISOLO, W. (Orgs.). **Fundamentos de segurança contra incêndio em edificações: proteção passiva e ativa: FSCIE-PPA**. São Paulo: Fundabom; Firek, 2019. p. 83-99

SILVA, E. C. M.; PINTO, E. M.; HOLANDA, M. C. Conflitos entre as normas brasileira de acessibilidade e saídas de emergência, *In*: CONGRESSO IBERO-LATINO-AMERICANO EM SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS, 4., 9-11 out. 2017, Recife, PE. **Anais do [...]**. p. 455-463. Disponível em: http://www.jalan.com.br/eventos/cilasci2017/arqAnais/anais_cilasci.pdf. Acesso em: 22 nov. 2022.

SILVEIRA, P. R. G. D.; SANTIAGO, Z. M. P. Acessibilidade espacial em reformas de edifícios: desafios da atuação profissional. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ERGONOMIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7. / SEMINÁRIO BRASILEIRO DE ACESSIBILIDADE INTEGRAL, 8., 2-4 maio 2018, Fortaleza, CE. **Anais do [...]**. p. 1094-1105. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br/designproceedings/eneac2018/111.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2022.

SØRENSEN, J. G.; DEDERICHS, A. S. Evacuation from a complex structure: the effect of neglecting heterogeneous populations. **Transportation Research Procedia**, v. 2, p. 792-800, 2014.

SØRENSEN, J. G.; DEDERICHS, A. S. Evacuation characteristics of visually impaired people: a qualitative and quantitative study. **Fire and Materials**, v. 39, p. 385-395, 2015.

SPEARPOINT, M.; MACLENNAN, H. A. The effect of an ageing and less fit population on the ability of people to egress buildings. **Safety Science**, v. 50, n. 8, p. 1675-1684, Oct. 2012.

STEL, V. S.; PLUJIM, S. M. F.; DEEG, D. J. F.; SMIT, J. H.; BOUTER, L. M.; LIPS, P. A classification tree for predicting recurrent falling in community-dwelling older persons. **Journal of the American Geriatrics Society**, v. 51, n. 10, p. 1356-1364, Oct. 2003.

STORY, M. F., MUELLER, J. L., MACE, R. L. **The universal design file: Designing for people of all ages and abilities**. Raleigh, NC: NC State University; The Center for Universal Design, 1998.

TAVARES, R. M.; SILVA, A. C. P.; DUARTE, D. Códigos prescritivos x códigos baseados no desempenho: Qual é a melhor opção para o contexto do Brasil? *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DA PRODUÇÃO, 22., 23-25 out. 2002, Curitiba, PR. **Anais do [...]**. Curitiba: ENEGEP, 2002, p. 1-8. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2002_tr47_0273.pdf. Acesso em: 15 set. 2022.

THOMPSON, P.; NILSSON, D.; BOYCE, K.; McGRATH D. Evacuation models are running out of time. **Fire Safety Journal**, v. 78. p. 251-261, Nov. 2015.

THOMPSON, P.; NILSSON, D.; BOYCE, K.; MOLLOY, M; MCGRATH, D. Exploring the biomechanics of walking and crowd flow. **Fire and Materials**, v. 44, n. 6, p. 879-893, Oct. 2020.

TINABURRI, A. Principles for Monte Carlo agent-based evacuation simulations including occupants who need assistance: From RSET to RiSET. **Fire Safety Journal**, v. 127, p. 103510, Jan. 2022.

VALENTIM, M. V. **Comportamento de crianças em movimento em escadas**: subsídios para o dimensionamento dos meios de escape em escolas. 2018. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

VALENTIN, M. V.; ONO, R. Qualidade do projeto de saídas de emergência em edificações para pessoas com deficiência. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., 12-14 nov. 2014, Maceió, AL. **Anais do [...]**. p. 1943-1952. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/entac2014/>. Acesso em: 20 nov. 2018.

YAO, Y.; LU, W. Children's evacuation behavioural data of drills and simulation of the horizontal plane in kindergarten. **Safety Science**, v. 133., p. 105037, Jan. 2021.

YAO, Y.; LU, W. Research on kindergarten children evacuation: Analysis of characteristics of the movement behaviours on stairway. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 50, p. 101718, Nov. 2020.

ZANG, Y.; MEI, Q; LUI, S. Evacuation simulation of a high-rise teaching building considering the influence of obstacles. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 112, p. 102354, Nov. 2021.

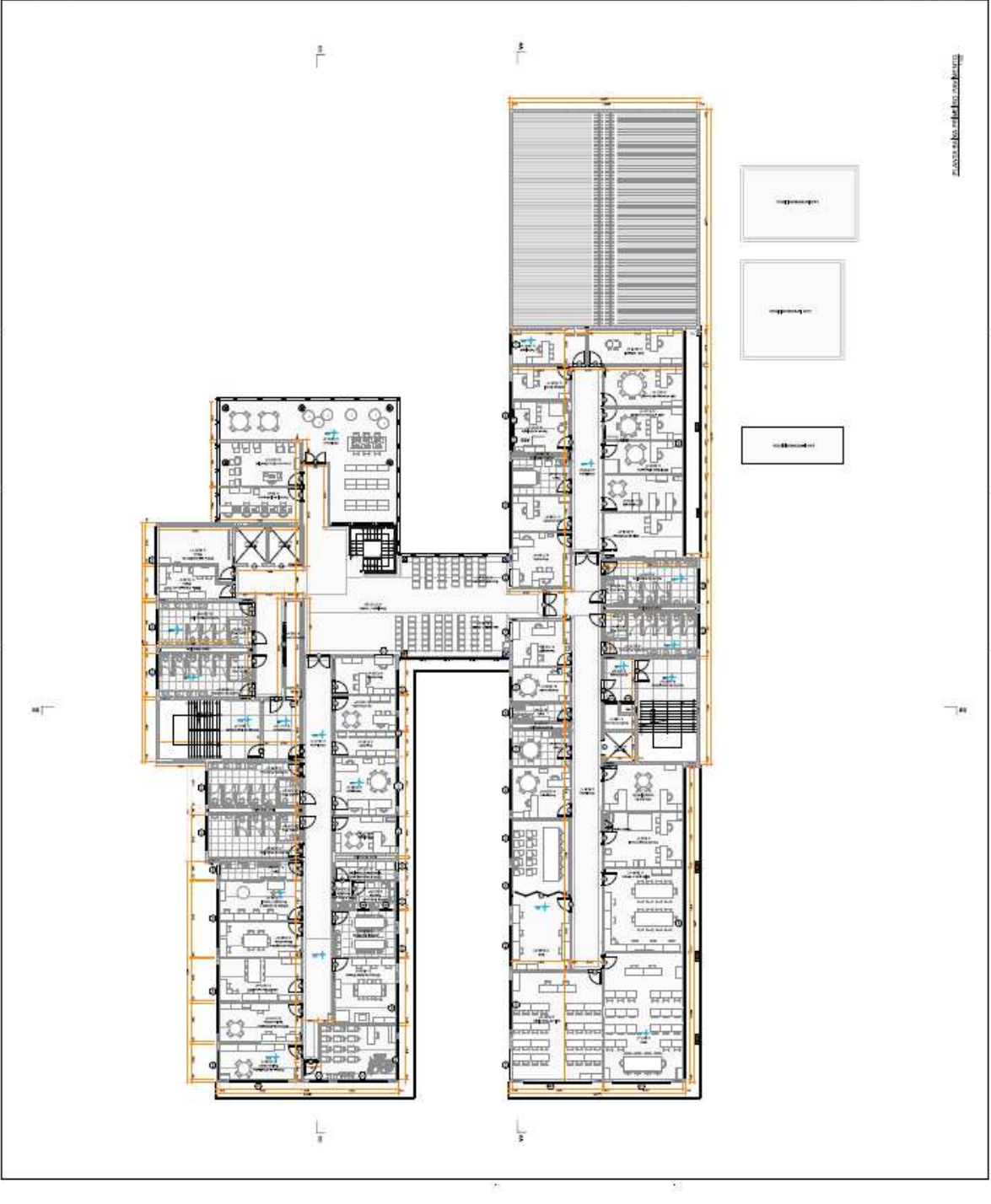
ZOU, B.; LU, C.; LI, Y. Simulation of a hospital evacuation including wheelchairs based on modified cellular automata. **Simulation Modelling: Practice and Theory**, v. 99, p. 102018, Feb. 2020.

ANEXO A – Plantas do projeto de arquitetônico da FCEE



<p>NOTA: LA COSTA SUD OVESTICA È PIÙ EVIDENTE NEI QUANTIFICATORI DEI COLONNATI, PERCHÉ QUESTI HANNO UN PAVIMENTO IN LEGNO. IL PAVIMENTO DI LEGNO, IN REAZIONE ALLA CARICATA, SI DEFORMA, IN UN MODO CHE PERMETTE LA VISUALIZZAZIONE DEI COLONNATI E LA LORO PROIEZIONE SULLA FACCIATA. IL PAVIMENTO DI LEGNO, IN REAZIONE ALLA CARICATA, SI DEFORMA, IN UN MODO CHE PERMETTE LA VISUALIZZAZIONE DEI COLONNATI E LA LORO PROIEZIONE SULLA FACCIATA.</p>		
NO. COLONNA	CATEGORIA	STATO
1
...
100

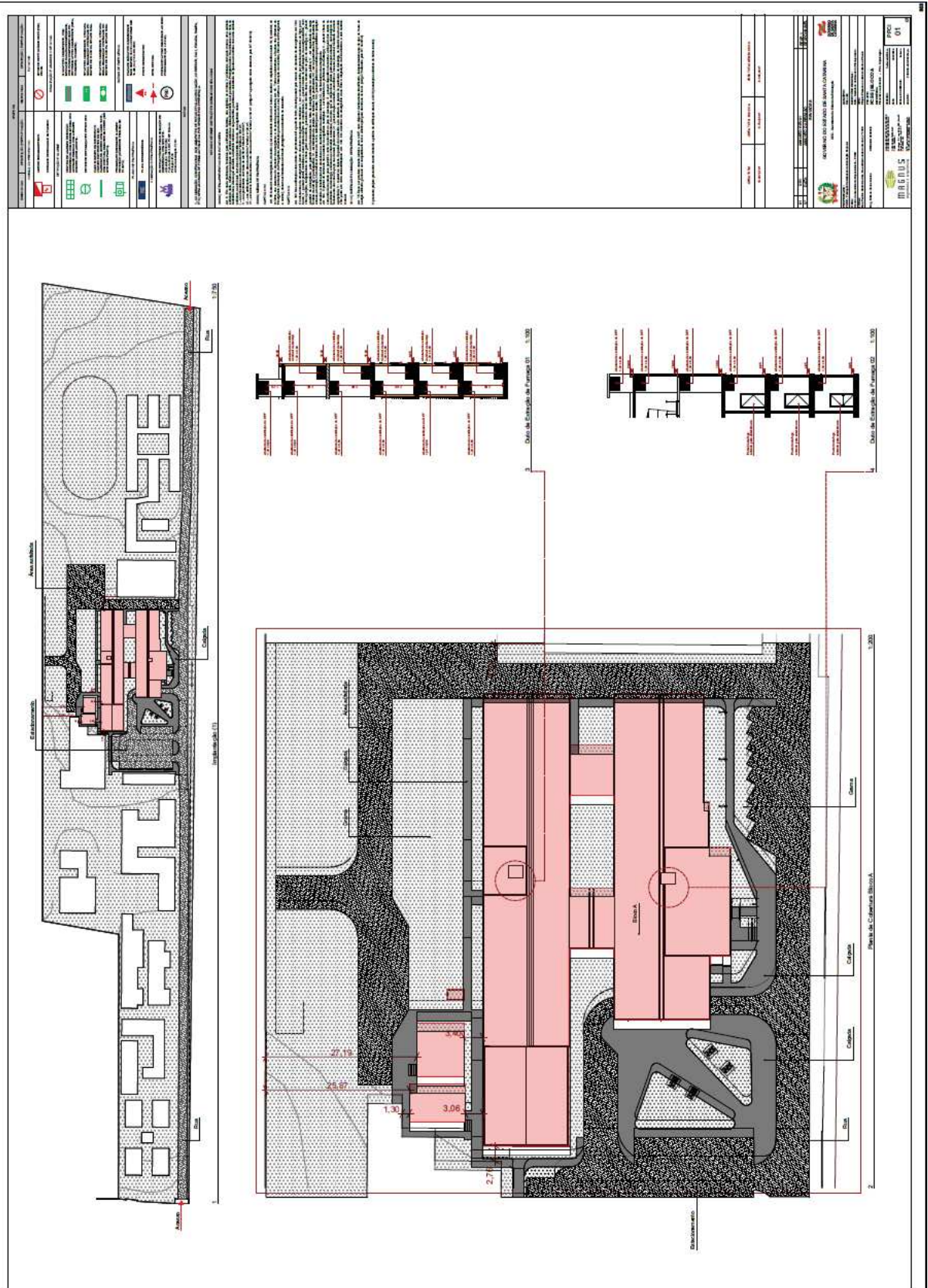
TABELLA DEI COLONNATI		
NO. COLONNA	CATEGORIA	STATO
1
...
100

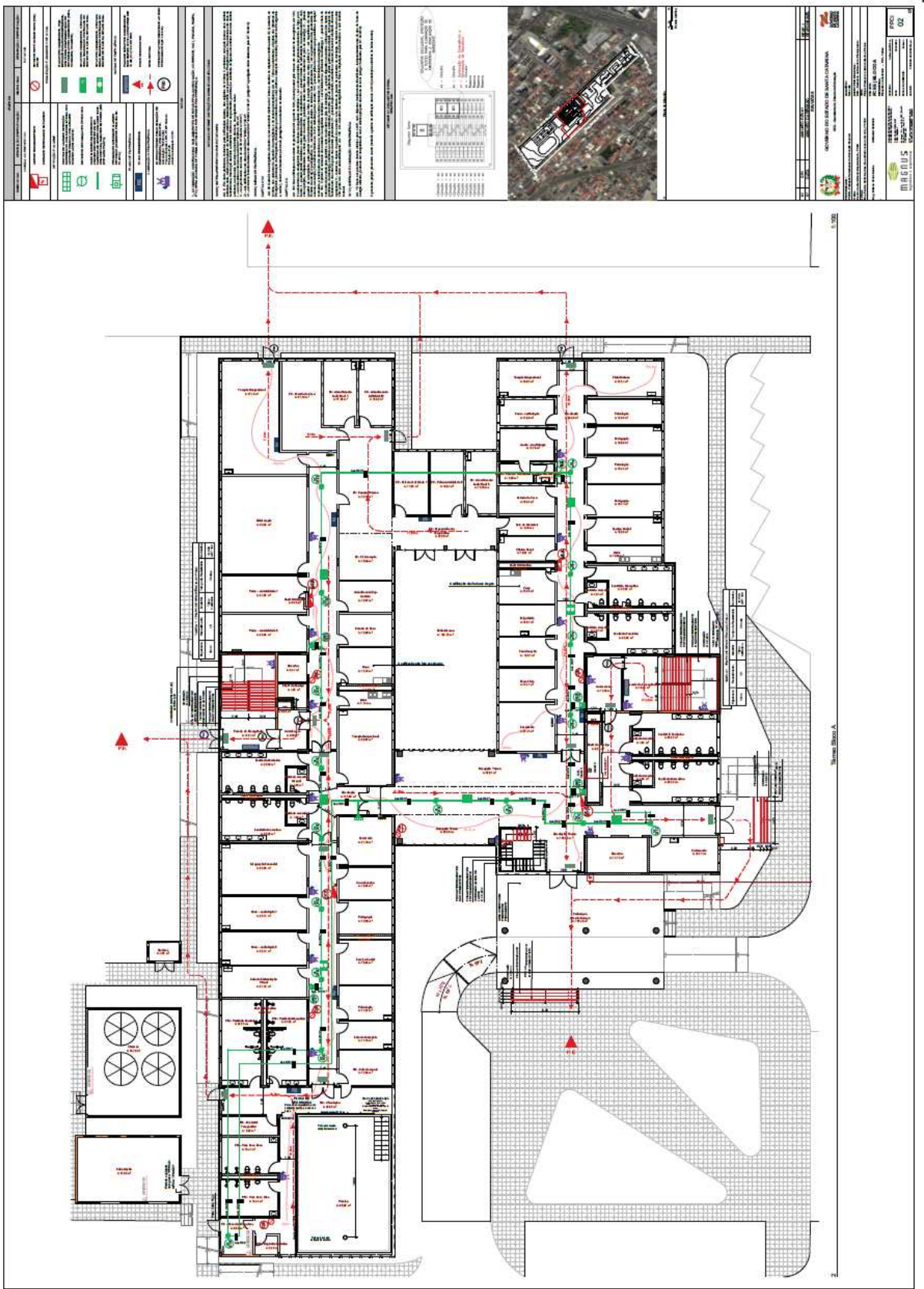


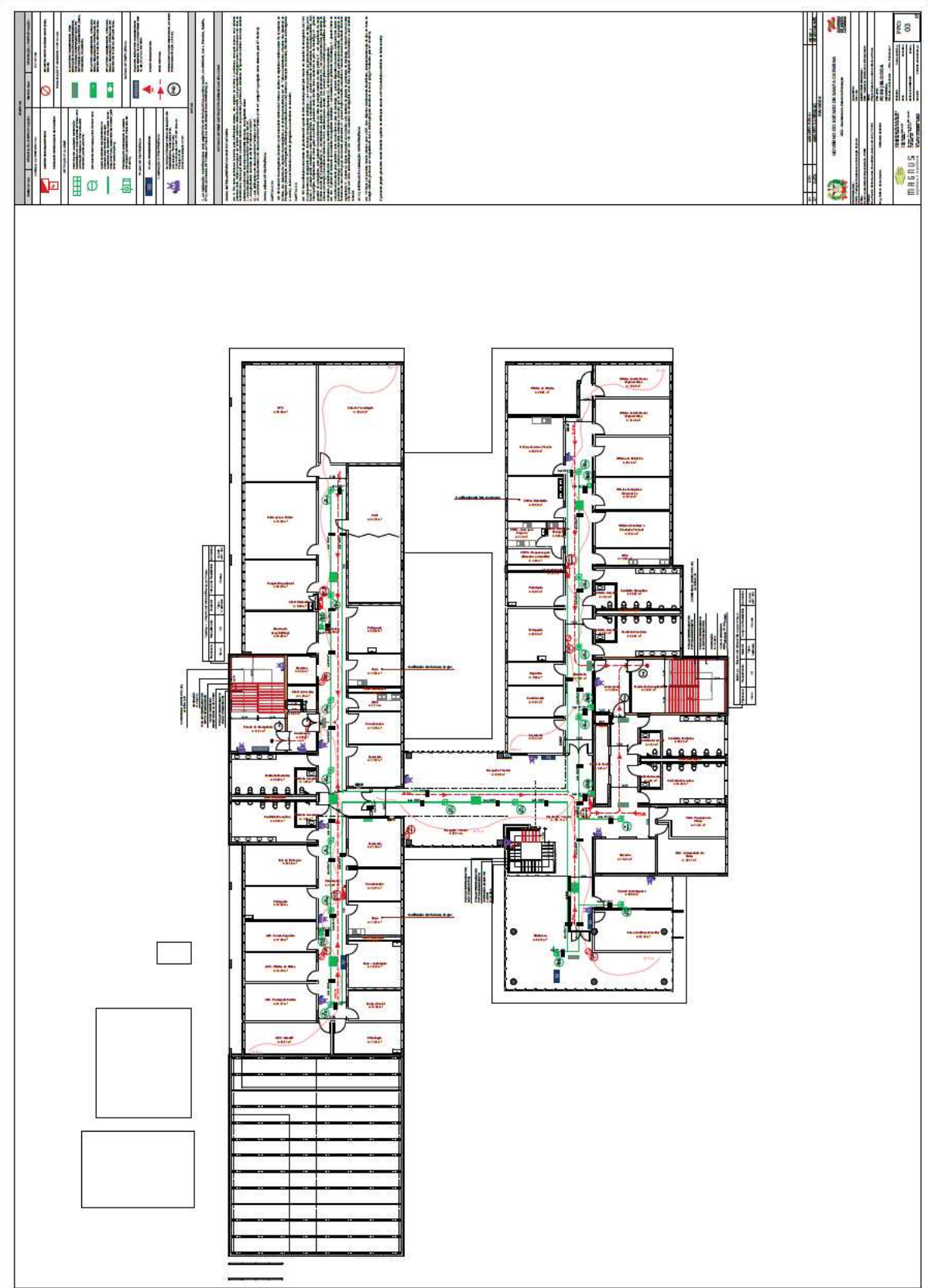
Struttura in cemento armato

...

ANEXO B – Plantas do projeto preventivo da FCEE







APÊNDICE A – Variações na posição inicial dos ocupantes no Modelo de Referência

Variação de simulação	Tempo de evacuação (s)				Distância (m)				Congestionamento (s)		
	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	
Mesma sala	02	10,0 Sala 05	62,7 Sala 01	37,5	15,2	11,0 Sala 05	32,7 Sala 09	21,5	5,4	0,225 Sala 05	20,600 Sala 10
	03	11,7 Sala 13	62,5 Sala 07	38,1	14,5	12,8 Sala 04	29,6 Sala 09	21,1	4,8	0,225 Sala 13	20,575 Sala 07
	04	12,2 Sala 04	64,2 Sala 01	39,1	15,0	13,0 Sala 13	32,8 Sala 01	21,3	5,0	0,225 Sala 04	20,825 Sala 14
	05	12,0 Sala 04	64,1 Sala 08	39,3	15,0	12,6 Sala 04	31,8 Sala 16	21,2	4,7	0,225 Sala 04	19,900 Sala 10
	06	10,5 Sala 13	60,5 Sala 09	36,5	14,1	11,4 Sala 13	33,4 Sala 09	21,6	4,9	0,225 Sala 11	25,250 Sala 07
Entre salas	07	10,7 Sala 04	61,3 Sala 08	37,3	14,3	11,6 Sala 04	33,2 Sala 08	20,4	5,4	0,225 Sala 04	20,675 Sala 06
	08	10,7 Sala 12	64,7 Sala 08	38,5	15,9	11,6 Sala 12	33,9 Sala 08	22,2	5,0	0,225 Sala 12	25,725 Sala 10
	09	10,4 Sala 13	67,8 Sala 08	39,2	17,0	11,2 Sala 13	34,5 Sala 08	20,9	5,7	0,225 Sala 13	28,075 Sala 07
	10	11,2 Sala 13	65,0 Sala 07	39,2	15,7	12,2 Sala 13	31,3 Sala 16	21,2	4,5	0,250 Sala 13	24,300 Sala 07
	11	5,3 Circul.	62,3 Sala 08	36,3	15,6	5,7 Circul.	35,1 Sala 08	20,1	5,7	0,225 Circul.	23,975 Sala 07
Entre salas e circulação	12	5,9 Circul.	60,9 Sala 09	35,0	15,1	6,3 Circul.	32,8 Sala 09	20,8	5,8	0,225 Circul.	24,750 Sala 15
	13	1,1 Circul.	59,4 Sala 09	33,4	15,8	0,6 Circul.	31,0 Sala 09	20,3	6,4	0,225 Circul.	20,850 Sala 11
	14	1,5 Circul.	59,8 Sala 09	34,1	16,1	1,1 Circul.	33,8 Sala 09	20,3	6,8	0,225 Circul.	19,350 Sala 02
	15	5,3 Circul.	62,3 Sala 07	36,3	15,7	5,7 Circul.	30,9 Sala 16	19,9	5,4	0,225 Circul.	26,275 Sala 07
	Média	8,56	62,64			9,173333	32,62			0,226667	22,78
Mediana	10,4	62,3			11,2	32,8			0,225	20,85	
Moda	10,7 Sala 13/ Circul.	62,3 Sala 08			11,6 Sala 13/ Circul.	32,8 Sala 09			0,225 Circul.	20,575 Sala 07	
Variância	13,994	4,965429			17,61352	2,204571			4,17E-05	7,797071	
Desvio padrão	3,740856	2,228324			4,196847	1,48478			0,006455	2,792324	
Coef. de Variação	44%	4%			46%	5%			3%	12%	

OBS: Os valores indicados em cor azul representam os caso em que o mesmo ocupante teve o valor mínimo ou máximo para mais de um fator analisado

APÊNDICE B – Resultados das simulações para calibragem de variáveis populacionais

Tabela A – Resultado para Densidade

M² POR PESSOA	TEMPO TOTAL DE DESLOCAMENTO (s)				DISTÂNCIA MÁXIMA PERCORRIDA (m)			
	MÉDIA	MÍN	MÁX	COEF. VARIACÃO	MÉDIA	MÍN	MÁX	COEF. VARIACÃO
7	64,1	60,2	67,2	4%	33,5	32,8	34,2	1%
5	75,22	72,4	80	3%	34,32	33,6	35,5	2%
4	89,8	85,7	95,8	3%	35,29	32,9	37,6	4%
3	116,94	112,9	122,9	3%	36,99	35,2	39,2	4%
2	179,16	172,7	186,6	2%	39,43	37,3	41,1	3%
1,5	227,8	220,5	237,5	2%	43,24	42	44,4	2%
1	334,53	324	348,7	2%	53,79	51,1	59,4	5%
0,5	650,48	639,5	659,8	1%	81,04	76,2	83,6	3%
0,33	976,44	962	987,1	1%	105,59	100,9	112,3	4%

Tabela B – Resultado para Formato

FORMATO OCUPANTE	TEMPO TOTAL DE DESLOCAMENTO (s)				DISTÂNCIA MÁXIMA PERCORRIDA (m)			
	MÉDIA	MÍN	MÁX	COEF. VARIACÃO	MÉDIA	MÍN	MÁX	COEF. VARIACÃO
Mod. Ref.	64,1	60,2	67,2	4%	33,5	32,8	34,2	1%
Ø 50	64,99	62	70,6	4%	33,48	31,9	35,4	3%
Ø 55	67,68	65,6	70,4	2%	33,94	32,3	36,7	4%
Ø 60	71	68,7	73,5	2%	34,79	33,2	35,6	2%
Ø 65	73,63	71,1	76,1	2%	34,44	33,3	35,9	2%
Ø 70	78,59	75,7	82,2	3%	34,76	33,3	37,7	3%
Ø 75	85,13	83,6	90,8	3%	34,59	33,1	35,9	3%
Ø 80	*	*	*	*	*	*	*	*
Octógono	69,75	67,6	71,7	2%	29,62	27,9	31,1	4%
1% PCR	66,16	61,5	70,3	4%	33,82	31,9	38,3	6%
5% PCR	73,01	67,9	79	5%	33,44	31	36,8	5%
10% PCR	76,74	71,5	87	6%	33,99	30,3	37,7	7%
15% PCR	84,88	76,2	95,6	6%	34,19	31,9	37,8	7%
20% PCR	88,36	81	94,1	5%	34,56	31,7	38,4	5%
25% PCR	94,58	85,1	101,4	5%	35,24	32,5	37,5	5%

Tabela C – Resultado para Velocidade e formato

OCUP. (%)		TEMPO TOTAL DE DESLOCAMENTO (s)				DISTÂNCIA MÁXIMA PERCORRIDA (m)			
		MÉDIA	MÍN	MÁX	COEF. VAR.	MÉDIA	MÍN	MÁX	COEF. VAR.
Lento	0	64,1	60,2	67,2	4%	33,5	33	34,2	1%
	1	66,04	61,3	70,9	5%	34,28	32	36,2	3%
	5	67,91	62,8	75,6	6%	33,56	32	36,6	5%
	10	66,88	63,5	70,4	3%	33,52	31	35,7	4%
	15	72,4	63,4	80,7	6%	33,72	32	35,7	4%
	20	72,66	65,8	80,5	7%	33,3	32	35,2	3%
	25	74,8	70,9	79,1	4%	32,74	31	35,8	5%
Andador	0	64,1	60,2	67,2	4%	33,5	32,8	34,2	1%
	1	70,6	62,1	92,5	12%	32,94	31,4	37,6	6%
	5	96,96	68	182,5	35%	34,38	31,9	37,6	6%
	10	117,6	71,4	184,5	31%	35,29	31,3	40,8	8%
	15	119,44	96,8	165,9	18%	35,99	31,7	43,5	9%
	20	120,92	100,7	160,6	16%	37,68	31,4	44,8	12%
	25	147,47	113,3	186,6	19%	35,13	30,8	41,4	8%
Bengala	0	64,1	60,2	67,2	4%	33,5	32,8	34,2	1%
	1	65,86	63,2	71,1	4%	33,15	31,3	34,6	3%
	5	67,72	64,1	76,4	5%	32,98	31	36	5%
	10	75,48	67,5	87,2	7%	33,92	31,3	37,5	5%
	15	82,52	74,3	89,8	6%	36,41	34	39,3	5%
	20	89,81	77,8	103	9%	35,33	32,9	38	6%
	25	90,41	80,1	100,2	7%	35,57	32,5	38,9	5%
Muleta	0	64,1	60,2	67,2	4%	33,5	32,8	34,2	1%
	1	64,3	60,5	66,7	3%	32,99	31,6	33,9	3%
	5	69,72	66,6	74,6	4%	33,21	31,2	35,3	4%
	10	72,51	68,7	77,9	4%	33,26	30,4	38,2	7%
	15	80,11	73,9	85,1	5%	33,05	30,6	35,8	5%
	20	86,94	79,6	97,8	6%	34,09	31,4	35,9	4%
	25	92,13	83,5	98,5	5%	33,64	31,4	35,9	4%
PCR manual	0	64,1	60,2	67,2	4%	33,5	32,8	34,2	1%
	1	65,22	63,2	72,2	4%	33,69	31,5	36,6	4%
	5	73,82	67,1	82,2	6%	34,39	31,4	38,2	6%
	10	80,56	74,9	85,9	5%	34,32	32,3	37,5	4%
	15	88,8	83	94,1	4%	33,86	30,5	37,6	7%
	20	99,72	92,7	110,5	5%	35,87	32,8	39,4	6%
	25	100,77	89,9	113,5	8%	34,24	31,2	36,8	5%
PCR elétrica	0	64,1	60,2	67,2	4%	33,5	32,8	34,2	1%
	1	67,79	63,7	72,3	4%	33,77	31,1	36,8	5%
	5	90,17	68,3	143,4	25%	33,55	30,9	36,2	5%
	10	103,71	84,3	184,5	29%	34,66	32	40,4	7%
	15	114,06	94,8	143,8	16%	34,24	31,7	40,4	7%
	20	134,61	109,9	161	13%	34,61	30,9	39,6	8%
	25	148,24	120,9	185,1	13%	34,75	32,5	41	7%

Tabela D – Resultados para ocupantes acompanhados

OCUPANTES ACOMPANHADOS		TEMPO TOTAL DE DESLOCAMENTO (s)				DISTÂNCIA MÁXIMA PERCORRIDA (m)			
		MÉDIA	MÍN	MÁX	COEF. VARIÇÃO	MÉDIA	MÍN	MÁX	COEF. VARIÇÃO
Auxílio Notificação e Pré-movimento	0	64,1	60,2	67,2	4%	33,5	32,8	34,2	1%
	1	62,15	60,8	65,3	2%	37,63	32,1	47,8	15%
	5	63,32	60,3	65,5	3%	43,95	37,3	56,7	14%
	10	61,93	60,9	62,7	1%	45,17	36,7	58,5	15%
	15	63,15	60,5	66,7	3%	47,4	39,5	55,7	12%
	20	63,89	60,9	67,7	3%	48,95	43,5	58,8	10%
	25	64,32	62,2	68,6	3%	53,28	48,8	62,6	7%
Lento assistido	0	64,1	60,2	67,2	4%	33,5	32,8	34,2	1%
	1	65,6	61,9	72,8	6%	44,7	34,1	52,9	14%
	5	73,37	62,7	95,6	13%	54,43	40,5	65,4	15%
	10	85,17	64,7	123,5	21%	59,38	51,8	70,5	12%
	15	88,32	72	105,6	11%	63,93	58,7	75,9	8%
	20	109,89	82,8	141,5	20%	79,03	65	98,4	15%
	25	111,09	95,4	141,2	12%	82,56	65,7	110,8	15%
PCR assistida	0	64,1	60,2	67,2	4%	33,5	32,8	34,2	1%
	1	65,09	62,2	68,6	3%	44,19	40,4	47,6	5%
	5	69,46	66	73,4	3%	46,94	39,7	52,4	9%
	10	75,04	69,9	79,4	4%	51,19	44	56,3	7%
	15	76,05	73,6	77,8	2%	50,08	44,9	55	7%
	20	79,17	74,6	83,9	4%	50,39	47	52,7	4%
	25	84,35	78	88,1	5%	51,99	47,3	57,3	7%

Tabela E – Resultado para ocupantes transportados por uma equipe

OCUPANTES TRANSPORTADOS (%)		TEMPO TOTAL DE DESLOCAMENTO (s)				DISTÂNCIA MÁXIMA PERCORRIDA (m)			
		MÉDIA	MÍN.	MÁX	COEF. VARIAÇÃO	MÉDIA	MÍN.	MÁX	COEF. VARIAÇÃO
Cadeira Evacuação 1 brigadista	0	64,1	60,2	67,2	4%	33,45	32,8	34,2	1%
	1	83,95	75,9	95,6	9%	54,5	51,1	58,9	5%
	5	183,53	173,8	195,4	4%	98,4	92,4	106,3	4%
	10	384,01	360,4	422,2	6%	222,9	216,9	228,7	2%
	15	608,26	576,8	644,3	3%	344,75	335,9	361,1	2%
	20	790,54	753,9	832,8	3%	453,8	423,3	464,7	3%
	25	1005,25	947,4	1088,3	4%	605	595,5	610,7	1%
Cadeira Transporte 2 brigadistas	0	64,1	60,2	67,2	4%	33,45	32,8	34,2	1%
	1	98,95	93,2	113	5%	55,9	50,5	78,5	16%
	5	215,3	206,7	224,8	3%	112,8	99,4	140	12%
	10	448,62	434,5	465,8	2%	246,15	222	264,6	6%
	15	727,47	697,9	765,8	3%	382,55	345,4	410,4	5%
	20	954,97	899,8	1031,9	4%	503,2	478,2	577,3	6%
	25	1192,88	1131,3	1336,8	5%	662,1	634,9	690,6	3%
Prancha 2 brigadistas	0	64,1	60,2	67,2	4%	33,45	32,8	34,2	1%
	1	153,91	131,5	172,6	9%	67,1	60,3	69,4	5%
	5	355,33	335,3	395,7	6%	135,55	129,2	157,3	7%
	10	743,91	686,3	825,5	5%	296,3	280,1	313,4	4%
	15	1195,75	1111,2	1239,7	3%	471,95	461,6	503,9	3%
	20	1603,49	1500,1	1786,8	5%	638,6	619,3	665,5	2%
	25	2001,96	1875,4	2098,1	3%	829,75	806,2	883	3%
Maca 4 brigadistas	0	64,1	60,2	67,2	4%	33,45	32,8	34,2	1%
	1	161,37	149,8	170,4	5%	109,2	70,6	124,6	23%
	5	410,01	386,3	437,3	3%	197,85	147,6	216	15%
	10	826,54	786,8	872	4%	373	341,5	441,1	8%
	15	1338,9	1292,8	1374,1	2%	626,1	558,3	670,2	6%
	20	1775,86	1756,1	1804,6	1%	791,25	707,1	888,6	6%
	25	2230,66	2173,5	2276,4	2%	1023,15	928,4	1133,5	7%

Tabela F – Resultado para ocupantes transportados por duas equipes

OCUPANTES TRANSPORTADOS (%)		TEMPO TOTAL DE DESLOCAMENTO (s)				DISTÂNCIA MÁXIMA PERCORRIDA (m)			
		MÉDIA	MÍN.	MÁX	COEF. VARIACÃO	MÉDIA	MÍN.	MÁX	COEF. VARIACÃO
Cadeira Evacuação 2 brigadistas	0	64,1	60,2	67,2	4%	33,45	32,8	34,2	1%
	1	82,25	78,6	90,7	4%	52	49,9	58,5	5%
	5	123,68	115,7	134,4	4%	64,5	59,7	71,3	6%
	10	199	189,8	210,7	4%	119,45	110,6	126,8	4%
	15	318,34	309,1	347,6	3%	176,7	172,1	186	3%
	20	422,07	397,1	439,5	3%	242,35	234,8	259,8	3%
	25	509,08	492,9	533,9	3%	304	295,2	309,5	2%
Cadeira Transporte 4 brigadistas	0	64,1	60,2	67,2	4%	33,45	32,8	34,2	1%
	1	82,25	78,6	90,7	4%	52	49,9	58,5	5%
	5	150,78	138,5	162,9	5%	74,05	64,9	99,8	17%
	10	255,9	249,7	261,8	2%	152,55	143,6	174	7%
	15	387,09	367,8	410	3%	218,2	203,9	248,3	6%
	20	519,78	490,8	558,2	4%	290,05	253,6	317,7	7%
	25	643,73	606	680,7	3%	363,8	342,3	408,8	6%
Prancha 4 brigadistas	0	64,1	60,2	67,2	4%	33,45	32,8	34,2	1%
	1	146,39	123,9	191,3	14%	63,95	55,6	77,3	10%
	5	250,18	217,6	272,4	6%	95,65	86,5	102,3	5%
	10	432,44	387,9	474,8	6%	187,6	172,6	202,5	5%
	15	670,47	645,6	702,3	3%	282,75	265,6	295,8	4%
	20	862,91	839,2	895,6	2%	343,5	326,5	366,3	3%
	25	1081,44	1042,8	1124,4	3%	467,2	453,3	503,6	4%
Maca 8 brigadistas	0	64,1	60,2	67,2	4%	33,45	32,8	34,2	1%
	1	135,33	123,2	143,8	6%	50,85	45,9	101,5	38%
	5	256,62	238,2	273,4	4%	126,05	72,3	176,3	33%
	10	440,08	413,4	468,4	4%	230,55	196,4	292,3	14%
	15	695,08	660	715,7	2%	314,65	278,1	411,4	12%
	20	946,44	920,7	995,3	3%	433,1	376,6	494,6	8%
	25	1159,64	1119,3	1248,4	4%	547	483,1	675,8	9%

APÊNDICE C – Resultados das simulações para calibragem de variáveis arquitetônicas

Tabela G – Resultado para Formato geométrico

FORMATO GEOMÉTRICO DA PLANTA	TEMPO TOTAL DE DESLOCAMENTO (s)				DISTÂNCIA MÁXIMA PERCORRIDA (m)			
	MÉDIA	MÍN.	MÁX.	COEF. VARIACÃO	MÉDIA	MÍN.	MÁX.	COEF. VARIACÃO
Retangular	64,1	60,2	67,2	4%	33,5	32,8	34,2	1%
Quadrado compacto	62,24	60,1	64,6	3%	38,11	35,8	41,6	5%
Quadrado interno	59,87	44,9	63	9%	44,4	42,1	46,7	3%
Quadrado externo	68,39	62,3	78,4	8%	58,15	56,1	59,5	2%
Em "U"	66,2	62,1	69,3	4%	43,87	43	45	2%
Em "T"	62,31	61	65	2%	27,62	26,5	29,1	3%
Em "L"	62,14	61	63,7	2%	32,7	31,7	33,8	2%

Tabela H – Resultado para Compartimentação Interna

COMPARTIMENTAÇÃO	TEMPO TOTAL DE DESLOCAMENTO (s)				DISTÂNCIA MÁXIMA PERCORRIDA (m)			
	MÉDIA	MÍN.	MÁX.	COEF. VARIACÃO	MÉDIA	MÍN.	MÁX.	COEF. VARIACÃO
25m ² 16p	64,1	60,2	67,2	4%	33,5	32,8	34,2	1%
50m ² 8p80	68,34	65,7	75,3	4%	31,05	29	32,6	4%
50m ² 8p160	66,53	63,5	69,8	3%	34,24	32,2	36,4	3%
50m ² 16p	62,63	60,8	67,5	3%	31,82	30,3	32,8	3%
100m ² 4p80	63,19	61,6	64,8	2%	31,74	29,5	33,6	4%
100m ² 4p320	62,75	59,8	67,2	4%	37,6	35	41,1	5%
100m ² 16p	63,26	61,4	66,7	3%	32,25	29,5	36,7	7%
200m ² 2p80	62,93	60,8	66,2	3%	31,72	30,9	33,2	2%
200m ² 2p640	59	55,2	61,3	3%	39,68	35,8	42,7	5%
200m ² 16p	64,71	62,6	68,3	3%	36,28	31,4	39,4	7%
Único 1p80	68,23	64	72,4	4%	29,41	26,8	31,8	5%
Único 1p1280	15,95	15,2	16,6	3%	17,63	16,7	18,3	3%
Único 16p	13,32	11,9	14,5	6%	14,09	12,3	15,4	6%

Tabela I – Resultado para Layout interno

LAYOUT INTERNO	TEMPO TOTAL DE DESLOCAMENTO (s)				DISTÂNCIA MÁXIMA PERCORRIDA (m)			
	MÉDIA	MÍN.	MÁX.	COEF. VARIACÃO	MÉDIA	MÍN.	MÁX.	COEF. VARIACÃO
Sem layout	64,10	60,20	67,20	4%	33,50	32,80	34,20	1%
Sala de aula	64,08	59,60	67,40	3%	34,47	32,30	37,20	5%
Escritórios	65,34	63,90	67,10	2%	34,08	31,10	36,80	5%
Refeitórios	64,47	62,00	69,50	4%	33,91	31,20	37,20	5%
Auditórios	65,31	62,30	71,20	4%	34,39	32,20	36,90	4%

Tabela J – Resultado para Formato da circulação horizontal

FORMATO CIRCULAÇÃO HORIZONTAL	TEMPO TOTAL DE DESLOCAMENTO (s)				DISTÂNCIA MÁXIMA PERCORRIDA (m)			
	MÉDIA	MÍN.	MÁX.	COEF. VARIAÇÃO	MÉDIA	MÍN.	MÁX.	COEF. VARIAÇÃO
Em cruz	64,1	60,2	67,2	4%	33,5	32,8	34,2	1%
Em "H"	67,51	59,5	77,5	8%	36,56	35,2	38,7	3%
Retangular	75,16	71,1	79,4	3%	57,29	56,1	59	2%
Em "T"	74,71	73,9	75,5	1%	53,2	51,2	55,9	3%
Em "U"	73,46	72,3	74,2	1%	74,5	73,3	75,3	1%

Tabela K – Resultados para Largura da circulação horizontal

LARGURA CIRCULAÇÃO HORIZONTAL	TEMPO TOTAL DE DESLOCAMENTO (s)				DISTÂNCIA MÁXIMA PERCORRIDA (m)			
	MÉDIA	MÍN.	MÁX.	COEF. VARIAÇÃO	MÉDIA	MÍN.	MÁX.	COEF. VARIAÇÃO
120	64,1	60,2	67,2	4%	33,5	32,8	34,2	1%
125	62,47	59,5	68,9	4%	33,16	31,3	34,2	3%
130	60,96	55,6	66,2	5%	32,95	31,1	34,9	3%
135	64,93	57,6	69,8	6%	33,69	32	35,8	4%
140	68,61	66	71,4	3%	33,88	31,4	35,7	4%
145	69,63	66,8	72,9	3%	33,83	31,8	37,2	5%
150	69,97	67,5	72,5	2%	33,64	32,1	35,3	4%
155	71,87	64,9	77,4	5%	34,45	31,5	37,6	5%
160	75,24	68,3	87,5	8%	34,25	31,9	37,2	4%
165	80,14	73,5	92,9	7%	33,98	31,9	36,1	4%
170	82,98	77,4	95,1	6%	34,15	32,7	35,5	3%
175	88,5	79,2	96,8	7%	34,52	33,1	35,7	3%
180	90,66	84,2	94,5	4%	34,45	32,6	36,6	5%
185	95,56	89,4	104	5%	34,04	31,8	35	3%
190	92,89	86,7	96,5	4%	34,48	33,6	35,2	2%
195	92,95	87,2	102	5%	34,45	32,7	36,8	4%
200	88,55	82,1	92,9	4%	34,76	33,1	37,7	4%
205	87,99	79,4	96,2	5%	35,38	32,9	37,9	6%
210	88	81,3	95,6	6%	35,16	33	36,4	3%
215	86,45	79,8	91,4	4%	35,19	32,4	38,3	5%
220	85,71	81,2	92,1	4%	35,54	32,2	38,2	4%

Tabela L – Resultado para quantidade e disposição de portas de saída de emergência

PORTA DE SAÍDAS DE EMERGÊNCIA	TEMPO TOTAL DE DESLOCAMENTO (s)				DISTÂNCIA MÁXIMA PERCORRIDA (m)			
	MÉDIA	MÍN.	MÁX.	COEF. VARIACÃO	MÉDIA	MÍN.	MÁX.	COEF. VARIACÃO
80a	64,1	60,2	67,2	4%	33,5	32,8	34,2	1%
80b	67,41	65,3	70,5	2%	49,65	48,2	52,3	3%
80ab	44,16	43,2	45,6	1%	31,19	29,6	32,8	3%
80ad	44,81	43,6	45,5	2%	30,76	30,1	31,3	1%
80bc	37,1	35,5	38,2	2%	31,13	24,9	35,1	14%
80acd	26,13	25,2	26,8	2%	23,27	22,4	24,5	3%
80bcd	28,15	27,1	29,6	3%	21,83	20	26,7	9%
80abcd	26,3	25,3	27,2	3%	23,15	21,6	23,9	3%

Tabela M – Resultado para Largura da porta de saída de emergência

LARGURA PORTA DE SAÍDA DE EMERGÊNCIA	TEMPO TOTAL DE DESLOCAMENTO (s)				DISTÂNCIA MÁXIMA PERCORRIDA (m)			
	MÉDIA	MÍN	MÁX	COEF. VARIACÃO	MÉDIA	MÍN	MÁX	COEF. VARIACÃO
80	85,71	81,2	92,1	4%	35,54	32,2	38,2	4%
85	79,84	77,3	84,4	3%	35,83	34	40,3	5%
90	75,1	70,1	83,9	5%	34,53	31,5	37,1	5%
95	72,38	69	76,8	4%	34,54	32,1	36	4%
100	66,59	61,9	70,8	4%	34,48	33,1	36	3%
105	63,93	60,6	68,4	5%	33,9	32,2	37,1	5%
110	58,38	53,5	63	6%	34,08	32,9	35,5	3%
115	54,13	52,3	58,2	4%	33,64	31,3	37,3	5%
120	50,93	49,2	53,5	3%	33,98	31,5	36,7	5%
125	49,94	47,1	54,2	4%	33,3	30,8	35,1	4%
130	47,73	46	52,9	4%	32,86	31	34,7	4%
135	46,19	44,8	49,8	3%	33,06	30,9	34,6	3%
140	44,51	43,2	46,2	2%	32,97	31,7	35	3%
145	42,79	41,6	44,5	2%	32,77	31,4	34,1	2%
150	41,4	39	43,2	3%	31,97	30,5	32,8	3%
155	40,49	38,1	41,9	3%	32,07	30,8	33,5	3%
160	39,11	37,9	39,8	2%	31,64	30,2	33,1	3%
165	38,41	37,3	39,3	1%	31,08	29,8	32,3	2%
170	37,96	37	39,3	2%	31,3	30,1	33,7	3%
175	38,05	37,5	38,4	1%	31,36	30,7	32,1	1%
180	38,1	37,2	39	2%	31,31	30,5	32,9	3%
185	37,68	37,1	38,8	2%	31,55	30,2	32,5	2%
190	37,39	36,3	38,1	1%	31,28	30,3	33,3	3%
195	37,76	37,3	38,4	1%	31,55	30,9	33,1	3%
200	37,69	36,6	39,1	2%	31,3	30,1	32,5	2%

Tabela N – Resultado para número de pavimentos com escada ou rampa paralela

PAVIMENTOS		TEMPO TOTAL DE DESLOCAMENTO (s)				DISTÂNCIA MÁXIMA PERCORRIDA (m)			
		MÉDIA	MÍN	MÁX	COEF. VARIACÃO	MÉDIA	MÍN	MÁX	COEF. VARIACÃO
ESCADA	1	64,1	60,2	67,2	4%	33,5	32,8	34,2	1%
	2	123,88	121	127,3	2%	57,95	56,9	60,8	2%
	3	188,79	181,2	197	3%	70,72	67,8	74,3	3%
	4	260,01	251,9	270,5	3%	82,3	79,4	88,2	3%
	5	332,58	323,6	350,4	3%	92,82	90,3	97,1	2%
	6	398,61	393,5	422,4	2%	108,92	104,8	117,1	4%
	7	479,23	468	503,8	3%	120,12	114,2	125,7	3%
	8	546,41	535,2	576,2	3%	132,2	128,8	139,2	2%
	9	625,82	611,7	654	3%	148,06	139,8	156,1	3%
	10	705,12	681,2	733,9	3%	162,09	153,5	169	3%
RAMPA	1	64,1	60,2	67,2	4%	33,5	32,8	34,2	1%
	2	146,31	143,3	151,2	2%	91,13	88,4	92,9	1%
	3	216,4	213,1	218,8	1%	137,32	134,4	139,7	1%
	4	290,15	284,4	294,4	1%	181,71	180,9	183,1	0%
	5	363,69	356,7	370	1%	227,83	225	231,1	1%
	6	439,34	433,9	445,6	1%	272,56	269,3	275,9	1%
	7	511,99	503,3	518	1%	317,83	315,1	323,4	1%
	8	590,88	587,1	600,3	1%	363,46	359,5	369,8	1%
	9	664,51	654,1	672,6	1%	408,91	405,9	411,7	1%
	10	736,39	725,9	744,3	1%	454,93	451,3	459,9	1%

Tabela O – Resultado para quantidade e disposição de rampa

RAMPA - Quantidade e disposição	TEMPO TOTAL DE DESLOCAMENTO (s)				DISTÂNCIA MÁXIMA PERCORRIDA (m)			
	MÉDIA	MÍN	MÁX	COEF. VARIACÃO	MÉDIA	MÍN	MÁX	COEF. VARIACÃO
R1d-Pa	733,38	726,1	743,2	1%	454,04	450,4	458,3	0%
R1d-Pc	760,01	744,4	772,5	1%	471,18	468	473,9	0%
R1b-Pa	752,22	741,2	761,2	1%	487	482,5	491,6	1%
R1b-Pc	768,39	760,6	781,7	1%	502,4	496,6	508,7	1%
R2bc-Pa	528,66	510,5	547	2%	464,9	456,3	471,7	1%
R2ad Pc	663,24	655,4	671	1%	467,82	465,4	472,8	0%
R2bd-Pa	568,52	559,4	581,7	1%	445,87	442	448,3	1%
R2bd-Pc	668,22	664,7	673,1	0%	466,15	461,9	468,2	0%
R3bcd-Pa	533,56	528,5	540,9	1%	443,57	440,8	448,3	1%
R3abd-Pc	662,62	656,9	668,6	1%	465,41	462	468,5	0%

Tabela P – Resultado para quantidade e disposição de escada

ESCADAS - Quantidade e disposição	TEMPO TOTAL DE DESLOCAMENTO (s)				DISTÂNCIA MÁXIMA PERCORRIDA (m)			
	MÉDIA	MÍN	MÁX	COEF. VARIACÃO	MÉDIA	MÍN	MÁX	COEF. VARIACÃO
E1d-Pa	687,85	681,8	711,8	1%	162,97	155,4	172,1	3%
E1d-Pc	704,14	701,3	706,8	0%	180,94	171,8	189,6	3%
E1b-Pa	706,4	702,6	711,6	0%	203,62	187,6	217,1	5%
E1b-Pc	723,17	719,5	728,6	0%	221,44	212,7	234	3%
E2bc-Pa	530,29	517	542,7	2%	175,3	166,2	198,8	6%
E2ad_Pc	655,48	646,2	666	1%	191,74	181,4	201,3	3%
E2bd-Pa	513,49	507,6	520,7	1%	179,57	175,1	187,1	2%
E2bd-Pc	658,52	652,7	666,4	1%	188,13	183,4	190,7	1%
E3bcd-Pa	527,03	514,8	539,8	2%	160,73	151,6	170,9	4%
E3abd-Pc	655,54	649,2	668,8	1%	228,22	208,6	249,3	5%

Tabela Q – Resultado para formato de rampa

RAMPA Formato	TEMPO TOTAL DE DESLOCAMENTO (s)				DISTÂNCIA MÁXIMA PERCORRIDA (m)			
	MÉDIA	MÍN	MÁX	COEF. VAR.	MÉDIA	MÍN	MÁX	COEF. VAR.
Tipo 1	139,61	137,3	142,4	1%	87,23	84,5	89,4	2%
Tipo 2	140,72	136,6	143	1%	86,14	84,9	87,9	1%
Tipo 3	134,36	130,7	138	2%	76	74,4	79,1	2%

Tabela R – Resultado para formato de escada

ESCALA Formato	TEMPO TOTAL DE DESLOCAMENTO (s)				DISTÂNCIA MÁXIMA PERCORRIDA (m)			
	MÉDIA	MÍN	MÁX	COEF. VAR.	MÉDIA	MÍN	MÁX	COEF. VAR.
Tipo 1	128,91	127,5	131,3	1%	56,64	53,9	61,3	4%
Tipo 2	124,86	122,5	127,8	1%	58,55	56,1	62	3%
Tipo 3	124,52	122,9	126,2	1%	58,55	57,6	59,9	1%

Tabela S – Resultado para área de resgate

ÁREA DE RESGATE	TEMPO TOTAL DE DESLOCAMENTO (s)				DISTÂNCIA MÁXIMA PERCORRIDA (m)			
	MÉDIA	MÍN.	MÁX.	COEF. VAR.	MÉDIA	MÍN.	MÁX.	COEF. VAR.
01MR	344,2	314	394	8%	174,0333	161	201,2	7%
01MR+acomp	339,9	308	393,1	8%	177,24	156	203,2	9%
02MR	295,3	275	324,8	6%	186,7222	153	217,5	10%

Tabela T – Resultado para área de resgate – área de relativa segurança

Tempo até a área relativa segurança	pav4	pav3	pav2	evacuação total
01MR	164,1	250,1	262,3	344,2
01MR+acomp	138,1	265,2	257,3	339,9
02MR	150,6	233,1	240,8	295,3

APÊNDICE D – Configurações de densidade populacional estudadas para FCEE

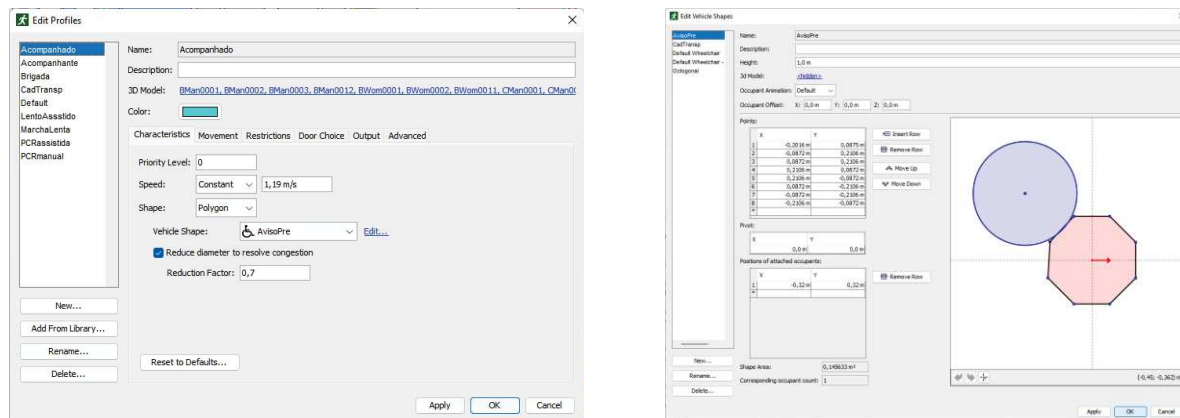
COMPOSIÇÃO DOS OCUPANTES DE CADA CENTRO CONFORME CLASSIFICAÇÃO DAS OCUPAÇÕES													
CENTRO		ÁREA (m ²)	DIVISÃO OCUPAÇÃO	704 OCUPANTES		1042 OCUPANTES		1.559 OCUPANTES					
TÉRREO	CENAE	403,28	100,74	D1	18	53	183	15	58	228	15	124	620
			12,62	E6	10			9			9		
			14,89	F8	3			15			15		
			126,58	H6	22			19			85		
			148,45	não computável	0			0			0		
	CENER	1144,99	81,72	D1	12	115	183	155	12	228	12	481	620
				E3	0				0		82		
			44,38	E6	20				30		30		
			15,05	F8	3				16		16		
			674,59	H6	80				97		341		
	329,26	não computável	0	0	0								
	Compartilhada	273,95	81,53	D1	12	15	183	15	12	228	12	15	620
			18,67	H6	3				3		3		
			173,75	não computável	0								
	INTERMEDIÁRIO	CAS	334,43	144,98	D1	28	73	310	109	21	465	21	127
101,85				E6	37	68				68			
13,79				F8	2	14				14			
35,77				H6	6	6				24			
38,04				não computável	0	0				0			
CETEP		360,11	50,68	D1	8	120	310	201	8	465	8	216	506
			260,36	E6	105				174		174		
			13,70	F8	2				14		14		
			28,64	H6	5				5		20		
			6,73	não computável	0				0		0		
compartilhada		479,67	81,54	D1	12	42	310	42	12	465	12	42	506
			89,03	F1	30				30		30		
			309,10	não computável	0				0		0		
NAAHS		417,09	63,71	D1	12	75	310	113	10	465	10	121	506
			161,03	E2	57				81		81		
			18,97	F8	3				19		19		
			15,21	H6	3				3		11		
			158,17	não computável	0				0		0		

COMPOSIÇÃO DOS OCUPANTES DE CADA CENTRO CONFORME CLASSIFICAÇÃO DAS OCUPAÇÕES (continuação)													
CENTRO		ÁREA (m ²)		DIVISÃO OCUPAÇÃO		704 OCUPANTES		1042 OCUPANTES		1.559 OCUPANTES			
SUPERIOR	CAP	755,83	247,87	D1	43	90	211	36	151	349	36	228	433
			119,97	E6	22			80			80		
			13,70	F8	2			14			14		
			145,76	H6	23			21			98		
			228,52	não computável	0			0			0		
	CETEA	419,99	61,40	D1	12	57	211	9	134	349	9	141	
			148,59	E6	38			100			100		
			21,76	F8	4			22			22		
			14,51	H6	3			3			10		
			173,72	não computável	0			0			0		
	compartil hada	418,41	117,83	D1	17	64	211	17	64	349	17	64	
			22,89	E6	16			16			16		
			43,68	F5	31			31			31		
			234,00	não computável	0								

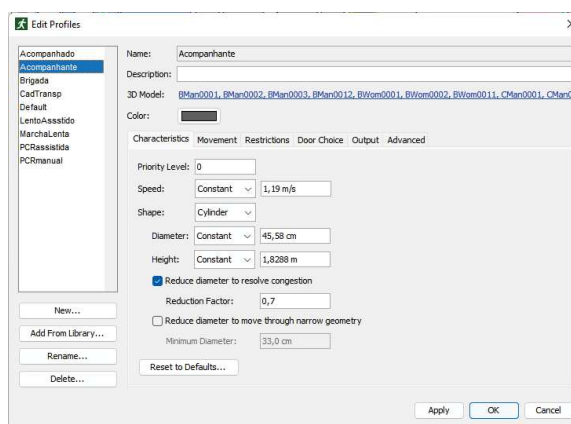
DENSIDADES RESULTANTES POR CENTRO E LOTAÇÃO DO EDIFÍCIO											
		Área (m ²)	704 OCUPANTES		1042 OCUPANTES		1559 OCUPANTES				
			POP	DENSIDADE (m ² /pessoa)	POP	DENSIDADE (m ² /pessoa)	POP	DENSIDADE (m ² /pessoa)			
TÉRREO	RECEPÇÃO	81,53	12	6,79	6,40	12	6,79	5,13	12	6,79	1,89
	CENER	815,73	115	7,09		155	5,26		481	1,70	
	CENAE	254,83	53	4,81		58	4,39		124	2,06	
	ENFERMARI A	18,67	3	6,22		3	6,22		3	6,22	
INTERMEDIÁRIO	RECEPÇÃO	81,54	12	6,80	3,48	12	6,80	2,32	12	6,80	2,13
	CAS	296,39	73	4,06		109	2,72		127	2,33	
	CETEP	353,38	120	2,94		201	1,76		216	1,64	
	NAAHS	258,92	75	3,45		113	2,29		121	2,14	
	BIBLIOTECA	89,03	30	2,97		30	2,97		30	2,97	
SUPERIOR	RECEPÇÃO	81,56	12	6,80	4,54	12	6,80	2,74	12	6,80	2,21
	CAP	527,31	90	5,86		151	3,49		228	2,31	
	CETEA	246,27	57	4,32		134	1,84		141	1,75	
	AUDITÓRIO	43,68	31	1,41		31	1,41		31	1,41	
	REUNIOES	22,89	16	1,43		16	1,43		16	1,43	
	TI	36,27	5	7,25		5	7,25		5	7,25	
TOTAL		3208,01	704	4,56	1042	3,08	1559	2,06			

APÊNDICE E – Perfil de ocupantes representados no estudo de caso com a FCEE

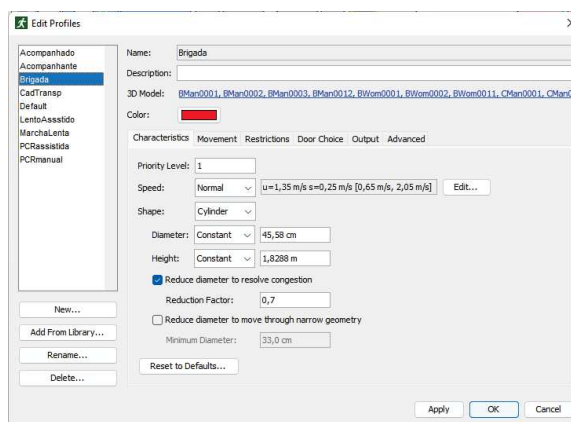
Perfil Acompanhado (requer assistência para se mover)



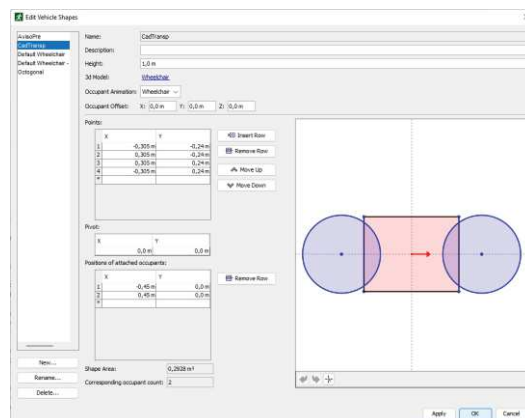
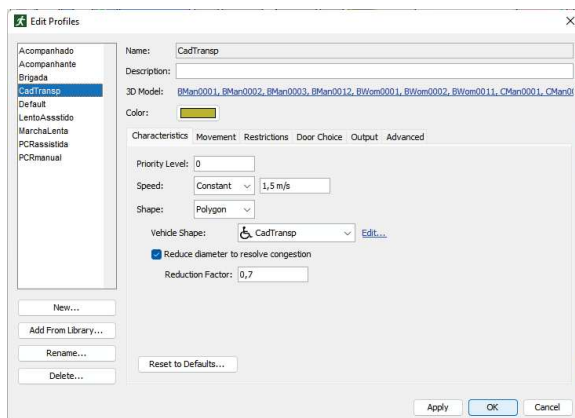
Perfil Acompanhante (presta assistência)



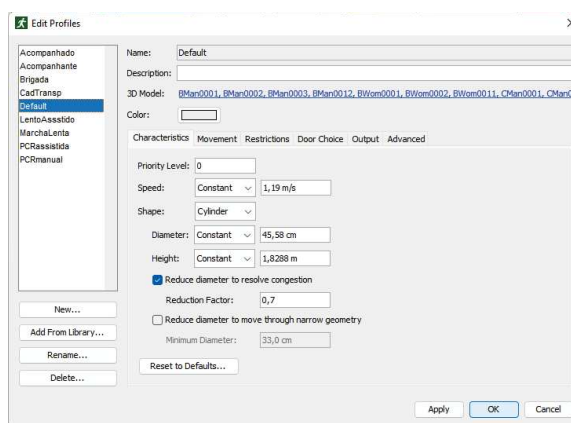
Perfil Brigadista (presta assistência)



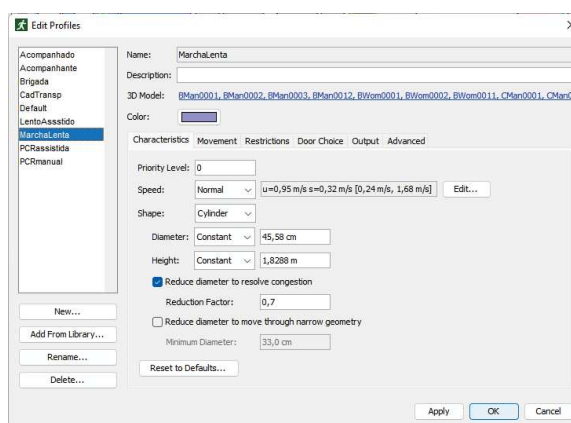
Perfil Cadeira de Transporte (requer assistência para se mover)



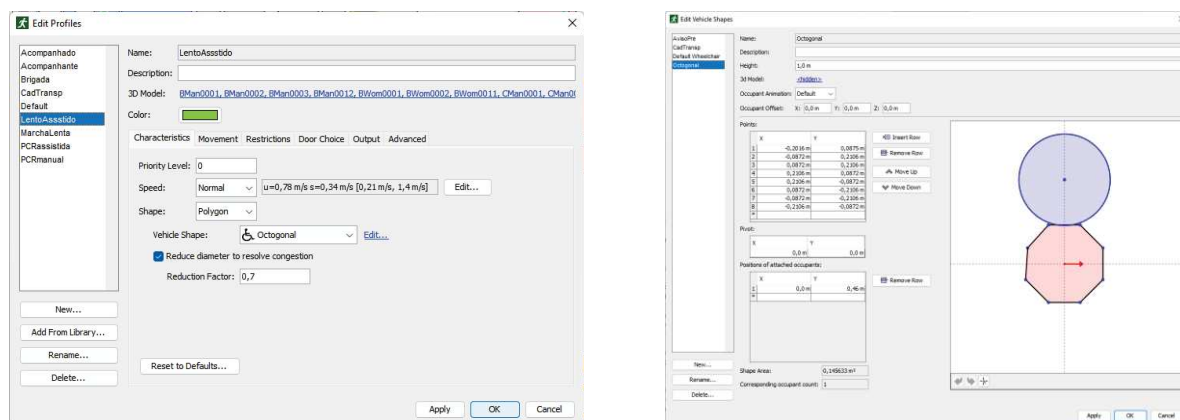
Perfil Padrão



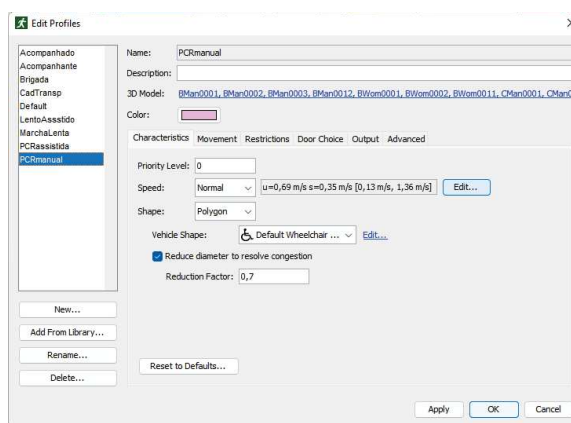
Perfil Lento



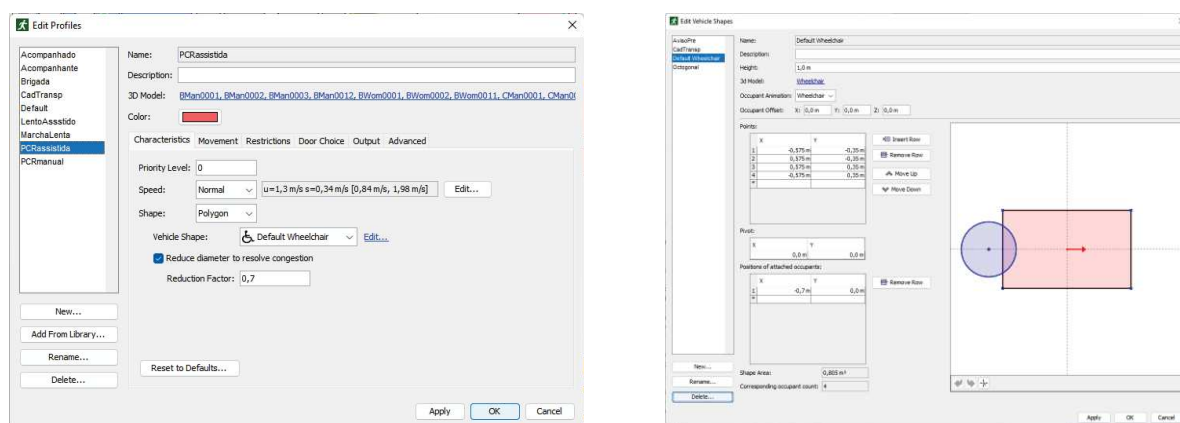
Perfil Lento acompanhado (requer assistência para se mover)



Perfil PCR



Perfil PCR acompanhado (requer assistência para se mover)



APÊNDICE F – Configurações de perfil populacional estudadas para FCEE

CONFIGURAÇÃO 01 – 704 OCUPANTES

DISTRIBUIÇÃO DE PERFIS PARA LOTAÇÃO 704 OCUPANTES														
ANDAR E CENTRO	POP. FIXA					POP. FLUTUANTES							TOTAL	
	GEN	ACT	BRI	PCR	LEN	GEN	ACT	ACD	LEN	LEN AC	PCR	PCR AC		
TÉRREO	Recepção	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	12
		0%	0%	0%	0%	0%	13%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
		0%					100%							
	Enfermaria	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	3
		2%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	2%	
		33%					67%							
	CENAE	22	2	1	1	0	10	7	0	1	5	0	4	53
		42%	4%	2%	2%	0%	19%	13%	0%	2%	9%	0%	8%	
		49%					51%							
	CENER	36	7	1	0	1	23	17	6	2	10	4	8	115
		31%	6%	1%	0%	1%	20%	15%	5%	2%	9%	3%	7%	
		39%					61%							
INTERMEDIÁRIO	CAS	26	4	1	0	1	21	8	11	0	1	0	0	73
		36%	5%	1%	0%	1%	29%	11%	15%	0%	1%	0%	0%	
		44%					56%							
	CETEP	15	0	5	0	1	83	2	2	7	0	5	0	120
		13%	0%	4%	0%	1%	69%	2%	2%	6%	0%	4%	0%	
		18%					83%							
	NAAHS	15	0	1	1	0	55	1	1	1	0	0	0	75
		20%	0%	1%	1%	0%	73%	1%	1%	1%	0%	0%	0%	
		23%					77%							
	Biblioteca	1	0	1	0	0	20	3	1	1	1	1	1	30
		3%	0%	3%	0%	0%	67%	10%	3%	3%	3%	3%	3%	
		7%					93%							
Recepção	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	12	
	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
	0%					100%								
SUPERIOR	Sala Reuniões	8	0	0	0	0	7	0	0	1	0	0	0	16
		50%	0%	0%	0%	0%	44%	0%	0%	6%	0%	0%	0%	
		50%					50%							
	Auditório	5	0	0	0	0	17	3	1	1	1	2	1	31
		16%	0%	0%	0%	0%	55%	10%	3%	3%	3%	6%	3%	
		16%					84%							
	Central TI	3	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5
		60%	0%	20%	20%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
		100%					0%							
	Recepção	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	12
		0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
		0%					100%							
CETEA	37	0	1	0	1	6	6	0	0	6	0	0	57	
	65%	0%	2%	0%	2%	11%	11%	0%	0%	11%	0%	0%		
	68%					32%								
CAP	54	3	1	0	1	10	9	6	0	6	0	0	90	
	60%	3%	1%	0%	1%	11%	10%	7%	0%	7%	0%	0%		
	66%					34%								
TOTAL		223	16	13	3	5	288	57	28	14	30	12	15	704
		34%			2%	0,4%	0,7%	49%		4%	2%	4%	2%	

CONFIGURAÇÃO 02 – 1.042 OCUPANTES

DISTRIBUIÇÃO DE PERFIS PARA LOTAÇÃO 1.042 OCUPANTES														
ANDAR E CENTRO	POP. FIXA					POP. FLUTUANTES							TOTAL	
	GEN	ACT	BRI	PCR	LEN	GEN	ACT	ACD	LEN	LEN AC	PCR	PCR AC		
TÉRREO	Recepção	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	12
		0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
		0%					100%							
	Enfermaria	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	3
		33%	0%	0%	0%	0%	0%	33%	0%	0%	0%	0%	33%	
		33%					67%							
	CENAE	29	5	1	1	0	7	4	0	1	5	1	4	58
		50%	9%	2%	2%	0%	12%	7%	0%	2%	9%	2%	7%	
		62%					38%							
	CENER	53	9	2	1	2	30	20	6	2	16	7	7	155
		34%	6%	1%	1%	1%	19%	13%	4%	1%	10%	5%	5%	
		43%					57%							
INTERMEDIÁRIO	CAS	40	6	2	0	1	23	15	17	1	4	0	0	109
		37%	6%	2%	0%	1%	21%	14%	16%	1%	4%	0%	0%	
		45%					55%							
	CETEP	39	0	7	0	1	114	14	6	7	4	5	4	201
		19%	0%	3%	0%	0%	57%	7%	3%	3%	2%	2%	2%	
		23%					77%							
	NAAHS	22	0	2	1	0	85	1	1	1	0	0	0	113
		19%	0%	2%	1%	0%	75%	1%	1%	1%	0%	0%	0%	
		22%					78%							
	Biblioteca	1	0	1	0	0	20	3	1	1	1	1	1	30
		3%	0%	3%	0%	0%	67%	10%	3%	3%	3%	3%	3%	
		7%					93%							
Recepção	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	12	
	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
	0%					100%								
SUPERIOR	Sala Reuniões	8	0	0	0	0	7	0	0	1	0	0	0	16
		50%	0%	0%	0%	0%	44%	0%	0%	6%	0%	0%	0%	
		50%					50%							
	Auditório	5	0	0	0	0	17	3	1	1	1	2	1	31
		16%	0%	0%	0%	0%	55%	10%	3%	3%	3%	6%	3%	
		16%					84%							
	Central TI	3	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5
		60%	0%	20%	20%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
		100%					0%							
	Recepção	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	12
		0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
		0%					100%							
CETEA	59	1	4	2	2	54	5	0	0	6	1	0	134	
	44%	1%	3%	1%	1%	40%	4%	0%	0%	4%	1%	0%		
	51%					49%								
CAP	68	1	2	0	1	42	16	8	3	9	1	0	151	
	45%	1%	1%	0%	1%	28%	11%	5%	2%	6%	1%	0%		
	48%					52%								
TOTAL		328	22	22	6	7	435	82	40	18	46	18	18	1042
		34%			2%	1%	1%	50%		4%	2%	4%	2%	

CONFIGURAÇÃO 03 – 1.559 OCUPANTES

DISTRIBUIÇÃO DE PERFIS PARA LOTAÇÃO 1.559 OCUPANTES														
ANDAR E CENTRO	POP. FIXA					POP. FLUTUANTES							TOTAL	
	GEN	ACT	BRI	PCR	LEN	GEN	ACT	ACD	LEN	LEN AC	PCR	PCR AC		
TÉRREO	Recepção	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	12
		0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
		0%					100%							
	Enfermaria	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	3
		33%	0%	0%	0%	0%	0%	33%	0%	0%	0%	0%	33%	
		33%					67%							
	CENAE	51	0	1	1	0	41	13	0	2	9	2	4	124
		41%	0%	1%	1%	0%	33%	10%	0%	2%	7%	2%	3%	
		43%					57%							
	CENER	101	1	7	3	4	191	74	23	10	35	15	17	481
		21%	0%	1%	1%	1%	40%	15%	5%	2%	7%	3%	4%	
		24%					76%							
INTERMEDIÁRIO	CAS	45	6	1	0	1	27	20	20	1	6	0	0	127
		35%	5%	1%	0%	1%	21%	16%	16%	1%	5%	0%	0%	
		42%					58%							
	CETEP	38	0	7	0	1	118	20	10	7	6	5	4	216
		18%	0%	3%	0%	0%	55%	9%	5%	3%	3%	2%	2%	
		21%					79%							
	NAAHS	23	0	2	1	0	88	3	2	1	1	0	0	121
		19%	0%	2%	1%	0%	73%	2%	2%	1%	1%	0%	0%	
		21%					79%							
	Biblioteca	1	0	1	0	0	20	3	1	1	1	1	1	30
		3%	0%	3%	0%	0%	67%	10%	3%	3%	3%	3%	3%	
		7%					93%							
Recepção	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	12	
	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
	0%					100%								
SUPERIOR	Sala Reuniões	8	0	0	0	0	7	0	0	1	0	0	0	16
		50%	0%	0%	0%	0%	44%	0%	0%	6%	0%	0%	0%	
		50%					50%							
	Auditório	5	0	0	0	0	17	3	1	1	1	2	1	31
		16%	0%	0%	0%	0%	55%	10%	3%	3%	3%	6%	3%	
		16%					84%							
	Central TI	3	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5
		60%	0%	20%	20%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
		100%					0%							
	Recepção	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	12
		0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
		0%					100%							
CETEA	58	1	4	2	2	64	4	0	0	5	1	0	141	
	41%	1%	3%	1%	1%	45%	3%	0%	0%	4%	1%	0%		
	48%					52%								
CAP	82	0	2	1	1	80	26	13	6	11	4	2	228	
	36%	0%	1%	0%	0%	35%	11%	6%	3%	5%	2%	1%		
	38%					62%								
TOTAL		416	8	26	9	9	689	167	70	30	75	30	30	1559
		27%			2%	1%	1%	55%		4%	2%	5%	2%	2%

APÊNDICE G – Resultados das análises do estudo de caso da FCEE

Tabela U – Resultados de tempo total de deslocamento para FCEE

TEMPO TOTAL DE DESLOCAMENTO (segundos)		704 ocupantes	1042 ocupantes	1559 ocupantes
PLANTA ORIGINAL	Pop. diversificada e layout	437,3	498	598,8
	Pop. diversificada sem layout	455,5	473,8	573,1
	Pop. padrão e layout	307,3	434,9	447,5
AMPLIAÇÃO DAS PORTAS DA ANTECÂMARA DA ESCADA 03	Pop. diversificada e layout	360,3	390,9	504,3
	Pop. diversificada sem layout	347,6	427,8	551,6
	Pop. padrão e layout	191,7	273,3	342,5
ALTERAÇÃO DA DESCARGA DA ESCADA 03	Pop. diversificada e layout	452,2	445,8	544,7
	Pop. diversificada sem layout	447,9	494,3	574,4
	Pop. padrão e layout	299,1	423,9	435,5
SUBSTITUIÇÃO DA ESCADA 01 POR RAMPA EXTERNA	Pop. diversificada e layout	588,9	588,7	606,7
	Pop. diversificada sem layout	612,3	614,8	619,9
	Pop. padrão e layout	337,9	468,3	469,6

Tabela V – Resultados de distância máxima percorrida para FCEE

Distância máxima percorrida (m)		704 ocupantes	1042 ocupantes	1559 ocupantes
PLANTA ORIGINAL	Pop. diversificada e layout	324,9	336,4	419
	Pop. diversificada sem layout	283,7	333,6	352,4
	Pop. padrão e layout	122	135	122,5
AMPLIAÇÃO DAS PORTAS DA ANTECÂMARA DA ESCADA 03	Pop. diversificada e layout	270,2	269,9	333,9
	Pop. diversificada sem layout	266	274,5	300,5
	Pop. padrão e layout	121,6	125,4	124,7
ALTERAÇÃO DA DESCARGA DA ESCADA 03	Pop. diversificada e layout	298,8	314,9	435,2
	Pop. diversificada sem layout	275,4	327,9	396,3
	Pop. padrão e layout	111,5	118,8	119,8
SUBSTITUIÇÃO DA ESCADA 01 POR RAMPA EXTERNA	Pop. diversificada e layout	246,0	267,9	342,8
	Pop. diversificada sem layout	227,0	267,5	314,5
	Pop. padrão e layout	188,0	192,0	201,3

Tabela X – Resultados de tempo total de deslocamento por porta de saída para FCEE

TEMPO TOTAL DE DESLOCAMENTO POR SAÍDA (SEGUNDOS)		01	02	03	04	05	06	07	08	
PLANTA ORIGINAL	704 ocup	Pop. diversificada e layout	57,3	339	31,7	56,1	50,3	21,6	437,3	*
		Pop. diversificada sem layout	54,3	455,5	20,2	54,6	53,4	21,6	427	*
		Pop. Padrão e layout	29,5	185,8	31,6	40,7	41,1	9,6	307,3	*
	1042 ocup	Pop. diversificada e layout	95,6	460,7	32,7	73,3	59,9	32,6	498	*
		Pop. diversificada sem layout	95,6	473,8	53,6	61,4	57,3	22,1	468,9	*
		Pop. Padrão e layout	33,5	272,8	41,8	46,4	39,5	9,6	434,9	*
	1559 ocup	Pop. diversificada e layout	136,6	528,2	106,5	134,7	89,1	32,4	598,8	*
		Pop. diversificada sem layout	141,3	559,5	99,3	525,9	89,6	35,6	573,1	*
		Pop. Padrão e layout	92,6	342,5	83,2	94	68,1	9,6	447,5	*
AMPLIAÇÃO DAS PORTAS DA ANTECÂMARA DA ESCADA 03	704 ocup	Pop. diversificada e layout	57,3	296,7	31,7	53,8	50,2	21,6	360,3	*
		Pop. diversificada sem layout	54,3	332,1	20,2	54,8	50,6	21,6	347,6	*
		Pop. Padrão e layout	29,5	184,6	31,6	40,7	41,1	9,6	191,7	*
	1042 ocup	Pop. diversificada e layout	95,6	390,9	32,7	76,5	60,7	32,6	366,3	*
		Pop. diversificada sem layout	95,6	427,8	28,7	72,4	60,6	22,1	389,4	*
		Pop. Padrão e layout	33,5	273,3	41,8	46,4	39,5	9,6	258,3	*
	1559 ocup	Pop. diversificada e layout	131,8	504,3	107,1	136,9	84,9	444	449	*
		Pop. diversificada sem layout	139,2	551,6	98,3	507,1	88,6	209,7	446,2	*
		Pop. Padrão e layout	92,6	342,5	80,8	92	68,1	9,6	269,9	*
AMPLIAÇÃO DAS PORTAS DA ANTECÂMARA DA ESCADA 03	704 ocup	Pop. diversificada e layout	57,3	348,9	31,7	56,7	48,5	21,6	32,7	452,2
		Pop. diversificada sem layout	54,3	367,9	20,2	54,8	53,9	21,6	33	447,9
		Pop. Padrão e layout	29,5	180	31,6	40,7	41,1	9,6	22,3	299,1
	1042 ocup	Pop. diversificada e layout	95,6	393,8	53,8	75,9	68,6	32,6	61,8	445,8
		Pop. diversificada sem layout	95,6	382,9	56,8	58,6	63,7	22,1	38,5	494,3
		Pop. Padrão e layout	33,5	271,2	41,8	46,4	39,5	9,6	36,3	423,9
	1559 ocup	Pop. diversificada e layout	134,2	480,4	112,6	140	88,8	32,4	52,6	544,7
		Pop. diversificada sem layout	140,7	574,4	112,8	537,9	90,2	35,7	58,1	549,8
		Pop. Padrão e layout	92,6	336,7	96,8	94,4	68,1	9,6	54,4	435,5
SUBSTITUIÇÃO DA ESCADA 01 POR RAMPA EXTERNA	704 ocup	Pop. diversificada e layout	57,3	588,9	19,6	53,6	49,1	21,1	355,7	*
		Pop. diversificada sem layout	54,5	612,3	19,6	52,5	53,2	21,1	361,1	*
		Pop. Padrão e layout	25,1	207	32,3	31,6	41,1	9,6	337,9	*
	1042 ocup	Pop. diversificada e layout	95,4	588,7	42,6	54,2	63,1	40	486	*
		Pop. diversificada sem layout	95,4	614,8	28,1	53,6	58,1	22,2	486,1	*
		Pop. Padrão e layout	28,2	279,2	32,2	36,8	39,5	9,6	468,3	*
	1559 ocup	Pop. diversificada e layout	119,1	606,7	93,9	110,2	96	41,5	504,5	*
		Pop. diversificada sem layout	129,7	619,9	89,1	119,1	90,3	30,1	506,6	*
		Pop. Padrão e layout	80,7	319,1	77,8	71,7	68,1	9,6	469,6	*

Tabela Y – Resultado do tempo total de deslocamento por escada para FCEE

TEMPO TOTAL DE DESLOCAMENTO POR ESCADA (SEGUNDOS)			Escada 01	Escada 03
PLANTA ORIGINAL	704 ocupantes	Pop. diversificada e layout	334,5	418,1
		Pop. diversificada sem layout	450,7	407,8
		Pop. Padrão e layout	180,9	240,7
	1042 ocupantes	Pop. diversificada e layout	456,5	478,5
		Pop. Diversificada sem layout	469,1	443,3
		Pop. Padrão e layout	267,7	376,7
	1559 ocupantes	Pop. diversificada e layout	523,4	580,1
		Pop. diversificada sem layout	555,0	554,4
		Pop. Padrão e layout	338,4	382,9
AMPLIAÇÃO DAS PORTAS DA ANTECÂMARA DA ESCADA 03	704 ocupantes	Pop. diversificada e layout	292,7	341,1
		Pop. diversificada sem layout	328,1	329,3
		Pop. Padrão e layout	179,8	152,2
	1042 ocupantes	Pop. diversificada e layout	385,4	347,9
		Pop. Diversificada sem layout	423,2	371,1
		Pop. Padrão e layout	268,3	218,8
	1559 ocupantes	Pop. diversificada e layout	499,7	429,3
		Pop. diversificada sem layout	547	428,2
		Pop. Padrão e layout	338,4	226,3
ALTERAÇÃO DA DESCARGA DA ESCADA 03	704 ocupantes	Pop. diversificada e layout	344,2	443
		Pop. diversificada sem layout	363,3	439,3
		Pop. Padrão e layout	175,8	255,5
	1042 ocupantes	Pop. diversificada e layout	389,1	434,9
		Pop. Diversificada sem layout	378,3	485,5
		Pop. Padrão e layout	266,1	378,5
	1559 ocupantes	Pop. diversificada e layout	476,1	535,6
		Pop. diversificada sem layout	570,2	541,2
		Pop. Padrão e layout	331,8	384,3
SUBSTITUIÇÃO DA ESCADA 01 POR RAMPA EXTERNA	704 ocupantes	Pop. diversificada e layout	588,9	255,3
		Pop. diversificada sem layout	612,3	249,5
		Pop. Padrão e layout	207	274,2
	1042 ocupantes	Pop. diversificada e layout	588,7	386,8
		Pop. Diversificada sem layout	614,8	378
		Pop. Padrão e layout	279,2	403,5
	1559 ocupantes	Pop. diversificada e layout	606,7	398,9
		Pop. diversificada sem layout	619,9	401,1
		Pop. Padrão e layout	319,1	405,4

Tabela Z – Resultado do Tempo para atingir área de relativa segurança e tempo total de deslocamento para FCEE

Tempo para atingir área de relativa segurança e tempo total de deslocamento			SUPERIOR			INTERMEDIÁRIO			TÉRREO	
			AC Esc01	AC Esc03	Evac	AC Esc01	AC Esc03	Evac	AC Esc01	Evac
PLANTA ORIGINAL	704 Oc	Pop. Diversificada e layout	62,2	130,3	397,7	190,3	135,5	409,4	31,8	437,3
		Pop. Diversificada sem layout	65,3	128,4	387,4	268,7	123,7	442,0	34,2	455,5
		Pop. Padrão e layout	63,4	94,0	118,5	116,7	134,0	173,2	27,4	307,3
	1042 Oc	Pop. Diversificada e layout	99,8	197,0	458,1	313,2	192,2	469,8	39,2	498,0
		Pop. Diversificada sem layout	99,3	197,6	422,8	424,2	172,1	460,4	37,9	473,8
		Pop. Padrão e layout	93,8	187,1	197,4	196,1	174,9	296,9	33,3	434,9
	1559 Oc	Pop. Diversificada e layout	324,5	207,6	559,7	338,5	190,4	571,4	123,1	598,8
		Pop. Diversificada sem layout	230,3	213,5	533,2	330,7	194,1	546,3	503,7	573,1
		Pop. Padrão e layout	223,7	197,9	285,7	224,7	182,9	320,0	82,7	447,5
AMPLIAÇÃO DAS PORTAS DA ANTECÂMARA DA ESCADA 03	704 Oc	Pop. Diversificada e layout	66,2	131,1	320,7	159,4	88,5	332,4	32,5	360,3
		Pop. Diversificada sem layout	63,4	131,0	308,8	155,1	69,7	320,6	34,7	347,6
		Pop. Padrão e layout	63,4	58,0	76,6	116,3	72,2	163,1	27,4	191,7
	1042 Oc	Pop. Diversificada e layout	103,7	273,5	327,5	297,7	110,3	376,6	42,1	390,9
		Pop. Diversificada sem layout	105,4	134,1	350,8	383,1	104,9	414,3	38,8	427,8
		Pop. Padrão e layout	93,8	108,7	166,8	199,0	105,7	250,9	33,3	273,3
	1559 Oc	Pop. Diversificada e layout	232,0	308,8	479,3	323,3	115,9	490,9	90,4	504,3
		Pop. Diversificada sem layout	262,4	127,6	471,3	414,7	119,3	538,4	491,2	551,6
		Pop. Padrão e layout	223,7	113,0	285,7	224,7	109,4	320,0	82,7	342,5
ALTERAÇÃO DA DESCARGA DA ESCADA 03	704 Ocup	Pop. Diversificada e layout	61,5	316,4	422,6	303,8	146,1	434,3	39,5	348,9
		Pop. Diversificada sem layout	61,0	126,8	133,8	116,8	184,2	184,2	27,4	180,0
		Pop. Padrão e layout	60,4	151,5	418,1	276,0	158,7	430,6	38,5	367,9
	1042 Oc	Pop. Diversificada e layout	97,4	245,2	414,5	346,1	200,6	426,2	40,6	393,8
		Pop. Diversificada sem layout	103,3	238,9	465,1	269,3	192,4	476,7	38,9	382,9
		Pop. Padrão e layout	89,4	206,5	215,8	196,1	184,0	309,3	33,3	271,2
	1559 Oc	Pop. Diversificada e layout	207,9	263,4	515,2	331,9	201,0	526,8	99,6	480,4
		Pop. Diversificada sem layout	372,0	261,5	520,8	436,1	209,5	561,3	518,6	574,4
		Pop. Padrão e layout	209,8	220,7	282,0	222,5	193,9	316,2	80,9	336,7
SUBSTITUIÇÃO DA ESCADA 01 POR RAMPA EXTERNA	704 Oc	Pop. Diversificada e layout	148,7	123,4	174,1	120,3	125,9	191,3	42,6	588,9
		Pop. Diversificada sem layout	172,1	116,7	197,5	125,0	188,5	188,5	45,5	612,3
		Pop. Padrão e layout	55,1	113,4	132,0	98,6	145,8	201,4	32,3	337,9
	1042 Oc	Pop. Diversificada e layout	204,9	193,8	215,9	190,3	171,0	314,8	47,6	588,7
		Pop. Diversificada sem layout	182,6	182,1	206,5	188,4	171,7	313,1	45,2	614,8
		Pop. Padrão e layout	84,0	183,5	216,0	155,8	182,8	332,2	38,8	468,3
	1559 Oc	Pop. Diversificada e layout	216,7	189,3	231,2	214,2	175,1	331,0	109,2	606,7
		Pop. Diversificada sem layout	209,3	196,5	224,2	221,6	176,9	333,2	101,6	619,9
		Pop. Padrão e layout	124,1	187,4	218,0	171,2	189,1	335,7	88,4	469,6

APÊNDICE H – Cenas de simulações aos 150 segundos

Figura A – Simulação com 704 ocupantes diversificados e layout – planta original

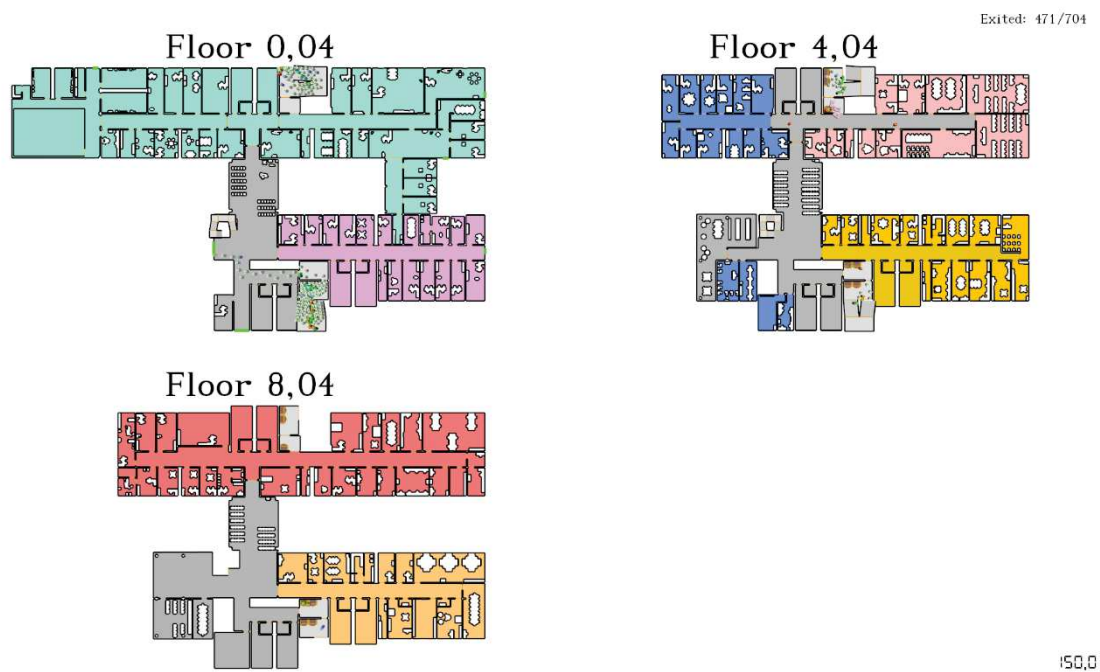


Figura B – Simulação com 704 ocupantes diversificados e layout – alteração portas antecâmara escada 03

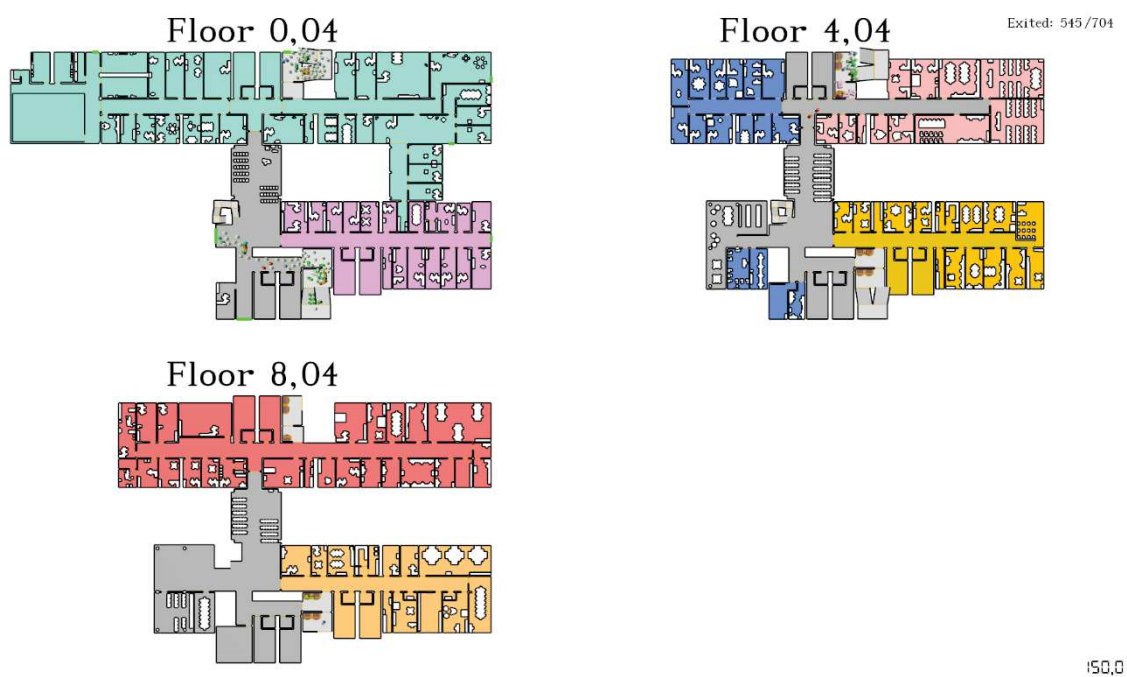


Figura C – Simulação com 704 ocupantes diversificados e layout – alteração da saída de descarga escada 03

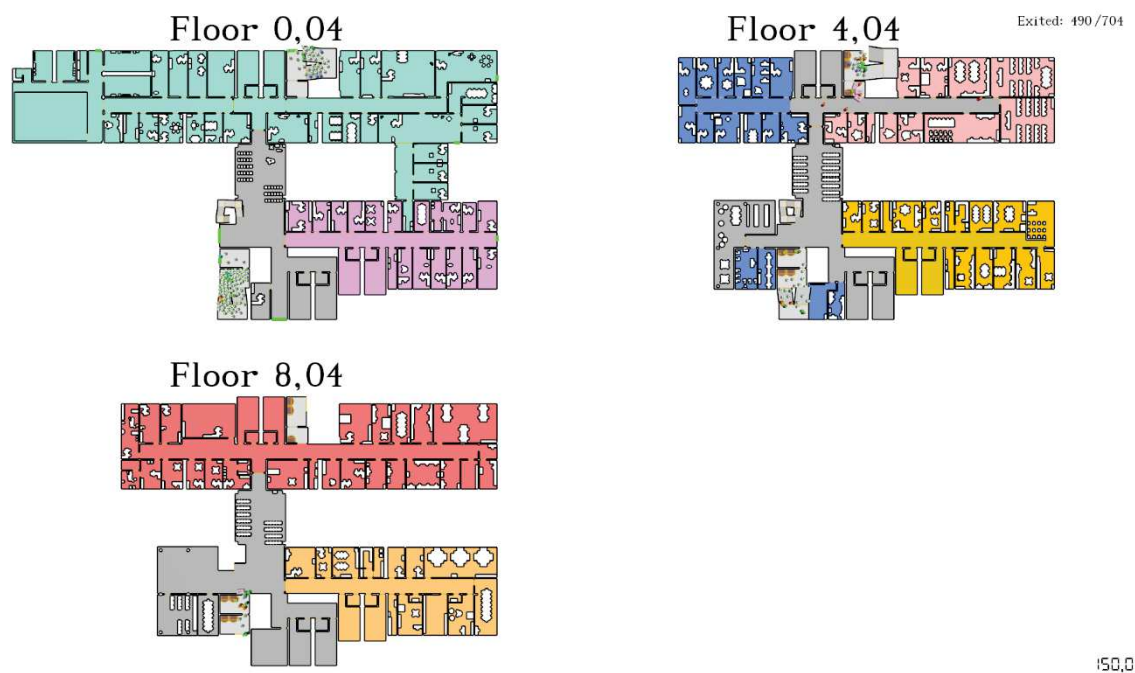


Figura D – Simulação com 704 ocupantes diversificados e layout – substituição da escada 01 por rampa

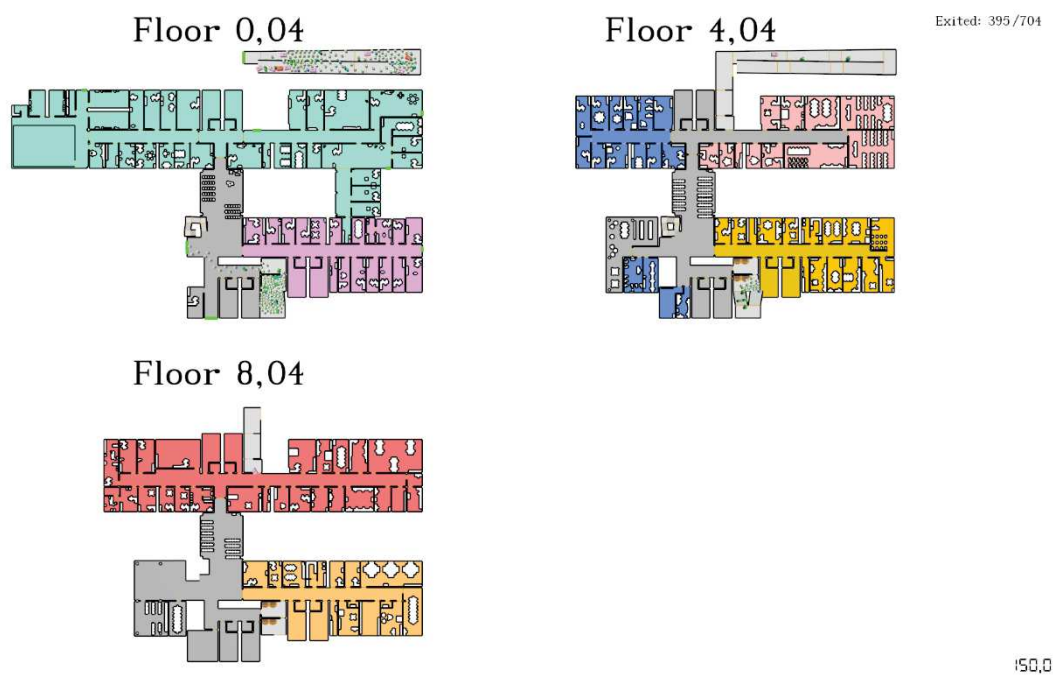


Figura E – Simulação com 704 ocupantes diversificados sem layout – planta original

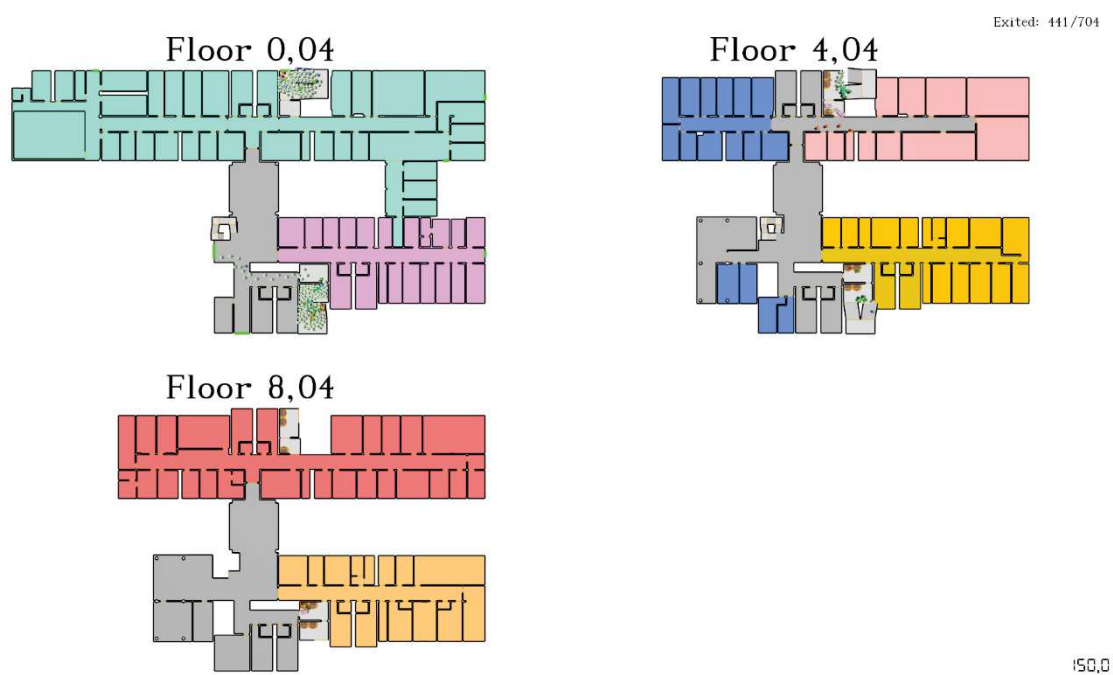


Figura F – Simulação com 704 ocupantes diversificados sem layout – alteração portas antecâmara escada 03

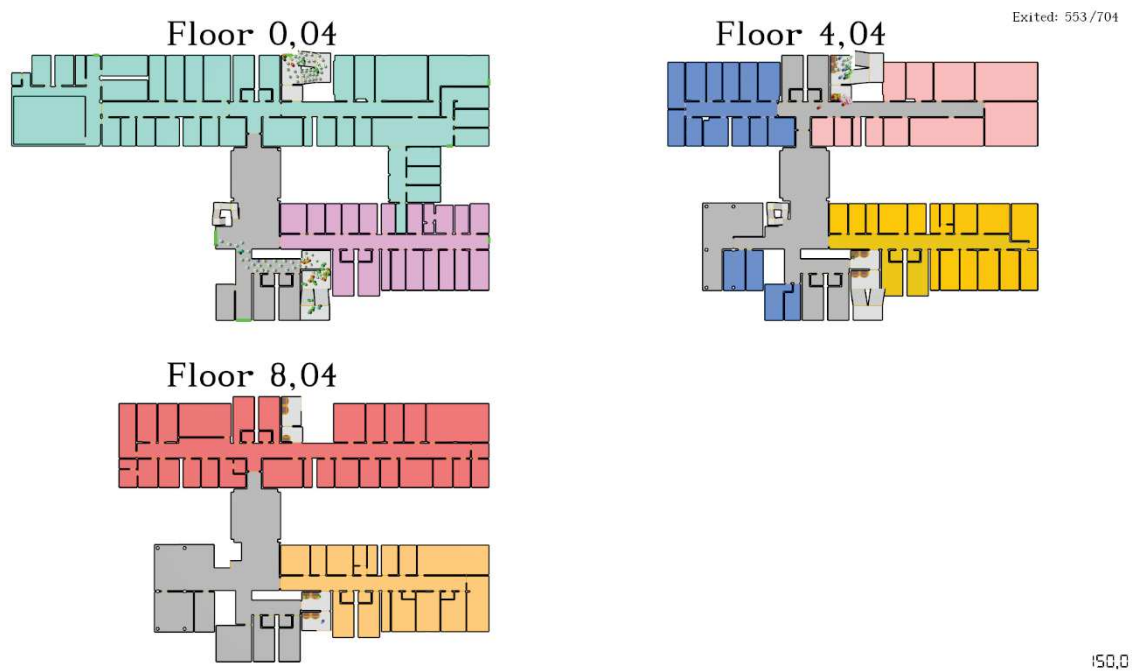


Figura G – Simulação com 704 ocupantes diversificados sem layout – alteração da saída de descarga escada 03

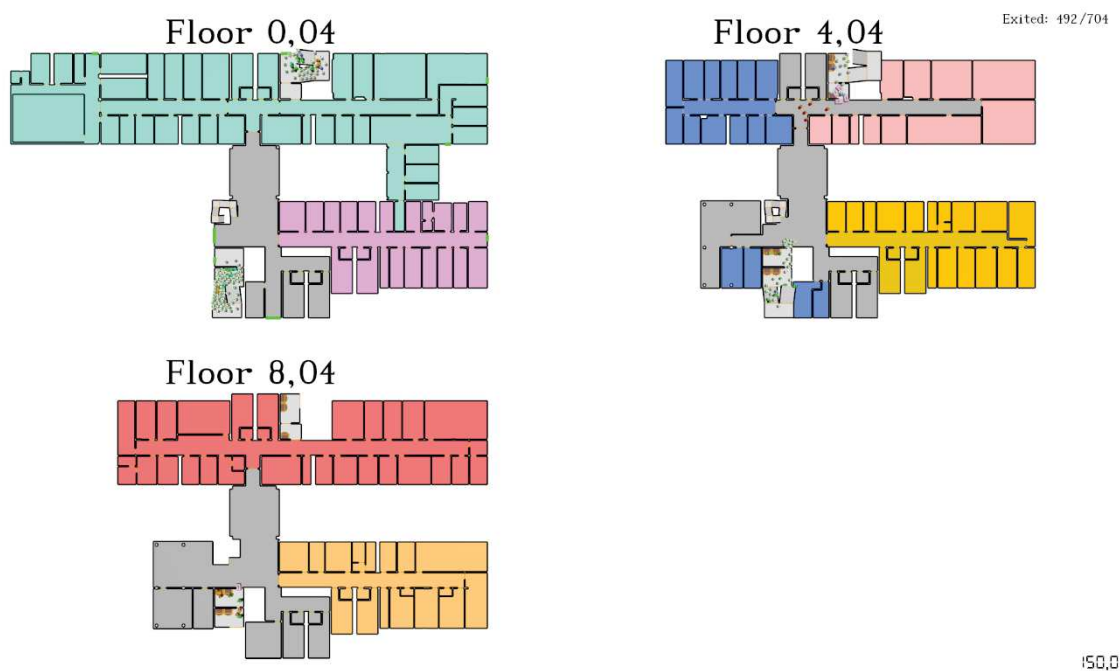


Figura H – Simulação com 704 ocupantes diversificados sem layout – substituição da escada 01 por rampa

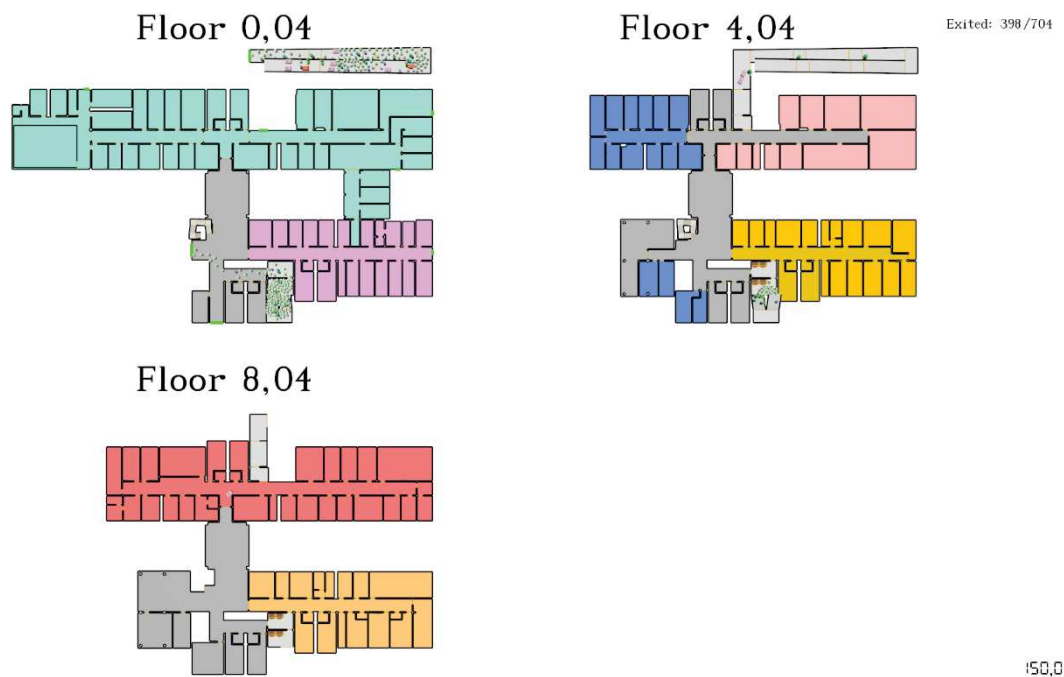


Figura I – Simulação com 704 ocupantes padrão e layout – planta original

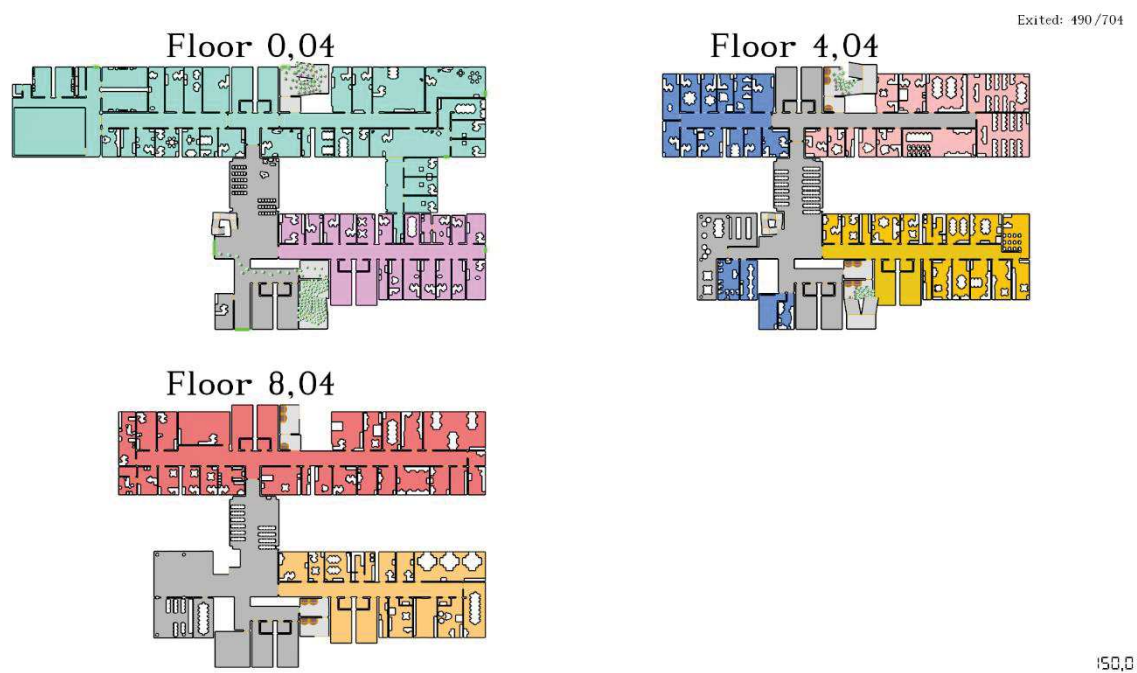


Figura J – Simulação com 704 ocupantes padrão e layout – alteração portas antecâmara escada 03

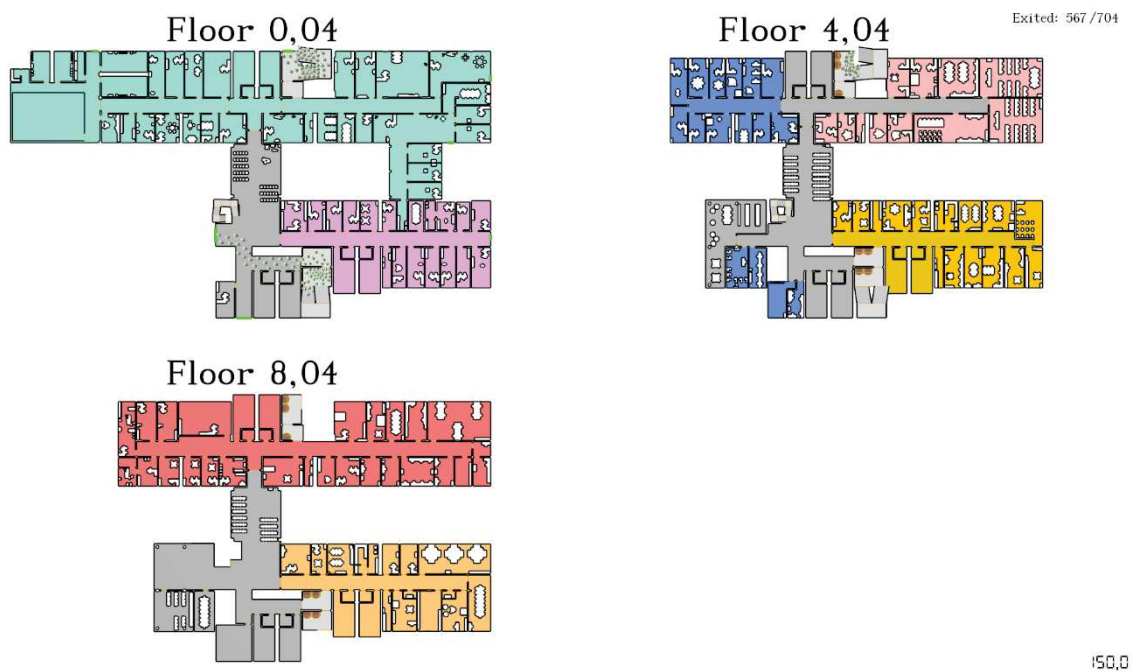


Figura K – Simulação com 704 ocupantes padrão e layout – alteração da saída de descarga escada 03

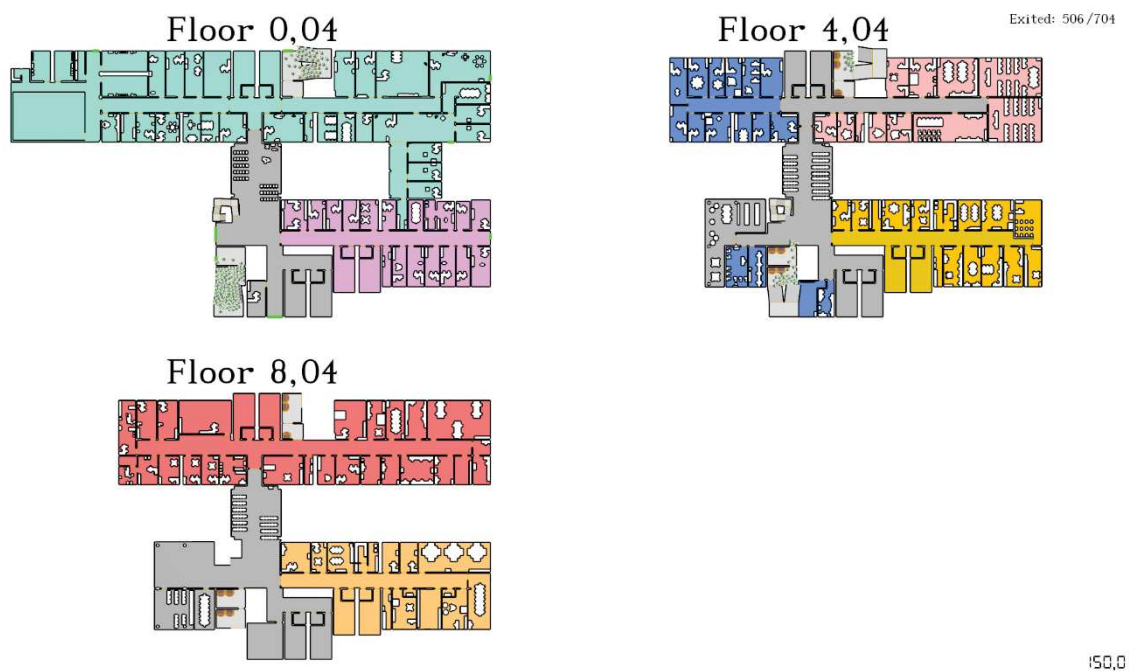


Figura L – Simulação com 704 ocupantes padrão e layout – substituição da escada 01 por rampa

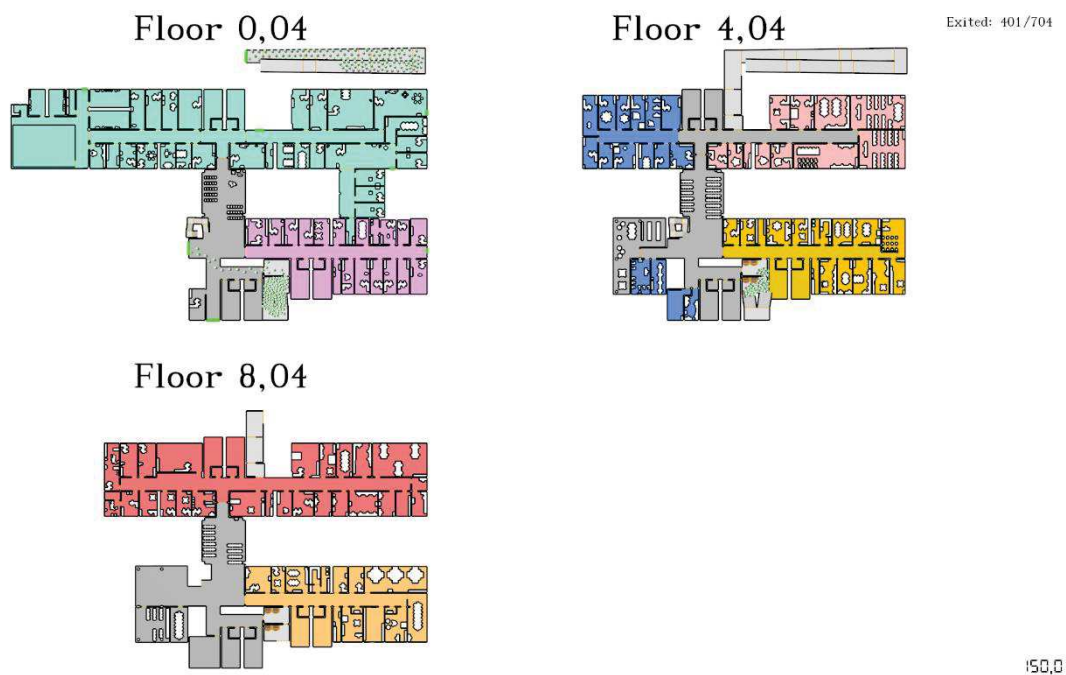


Figura M – Simulação com 1042 ocupantes diversificados e layout – planta original

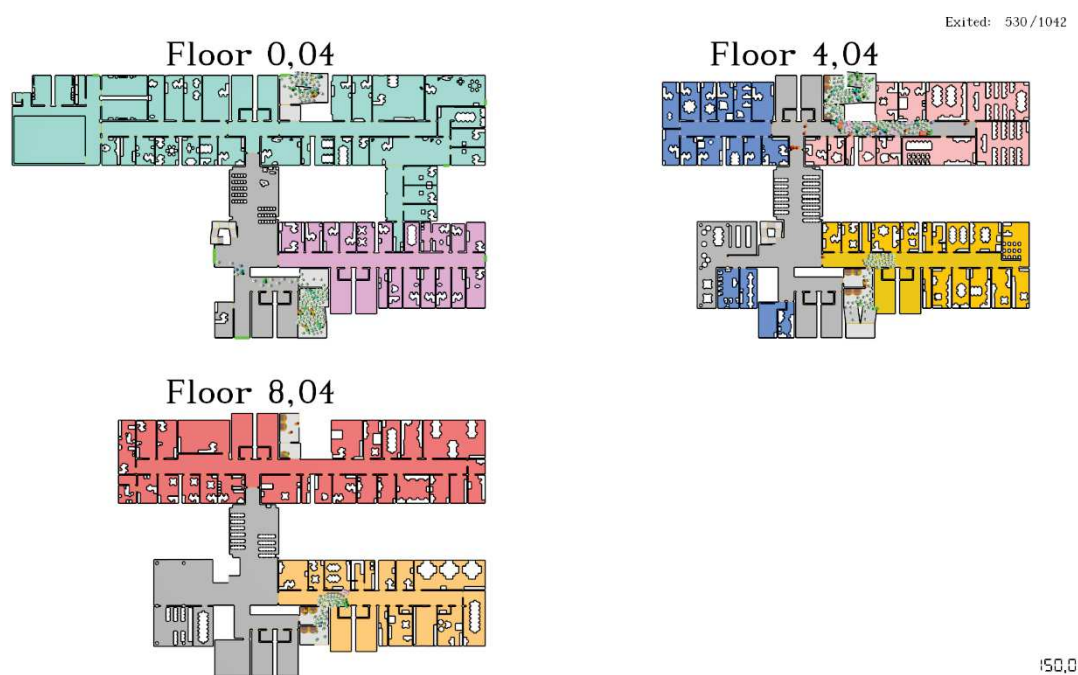


Figura N – Simulação com 1042 ocupantes diversificados e layout – alteração portas antecâmara escada 03

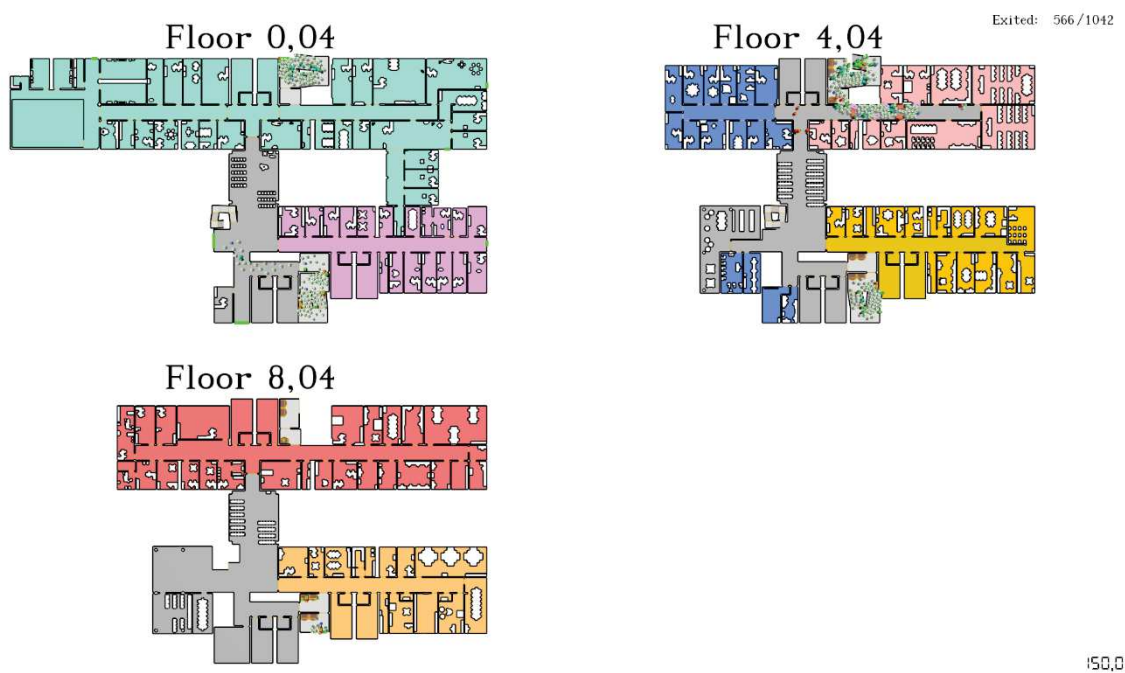


Figura O – Simulação com 1042 ocupantes diversificados e layout – alteração da saída de descarga escada 03

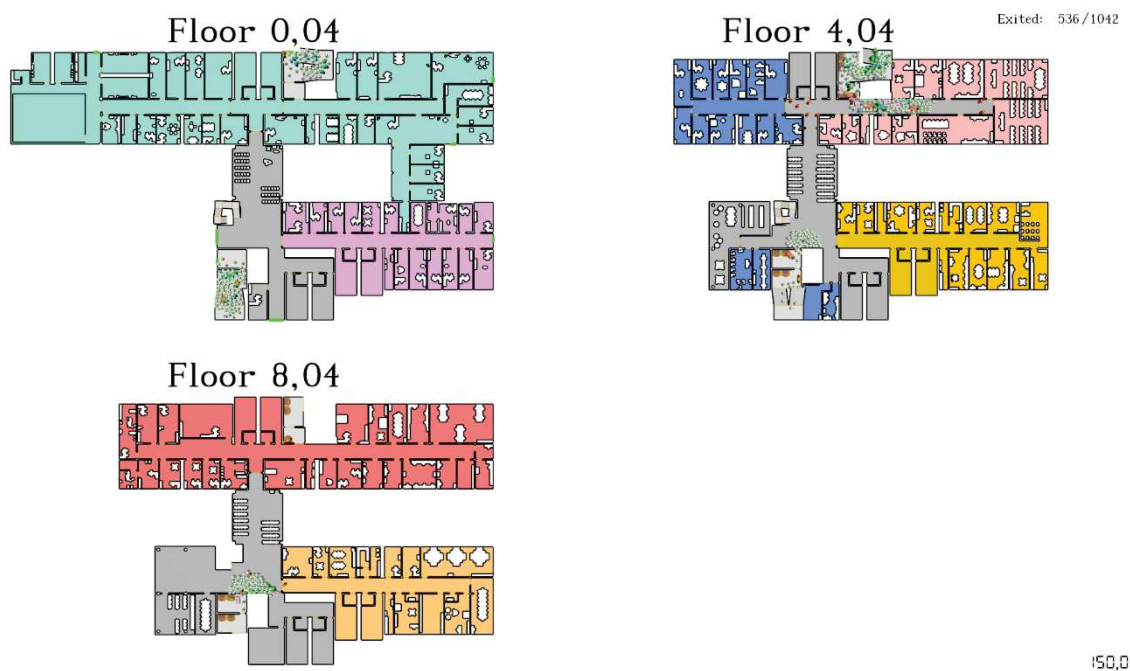


Figura P – Simulação com 1042 ocupantes diversificados e layout – substituição da escada 01 por rampa

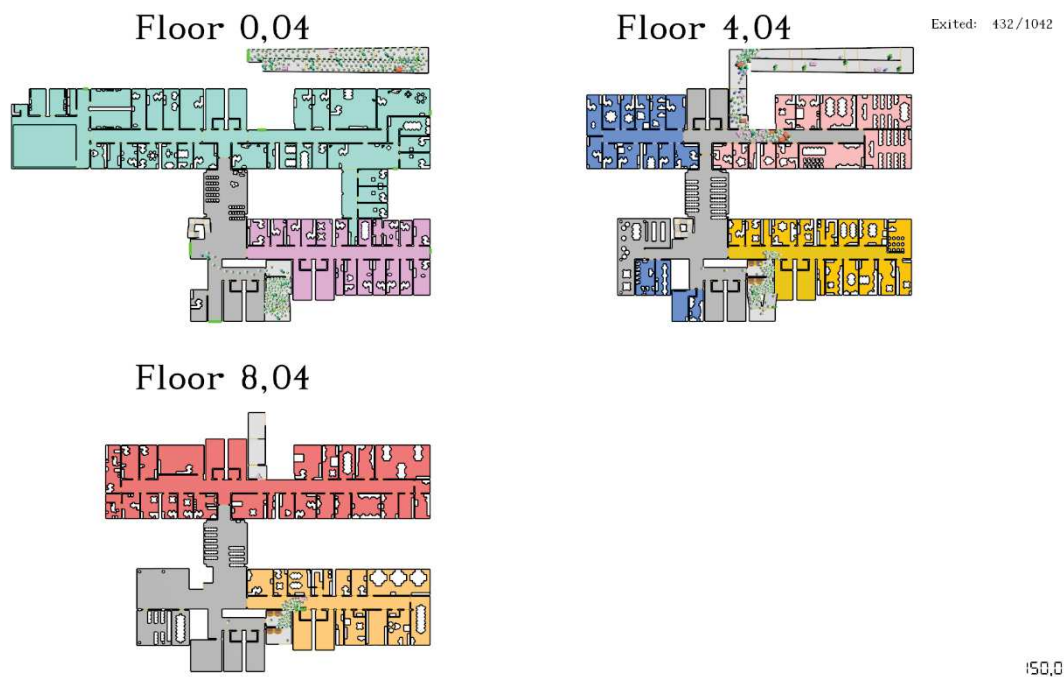


Figura Q – Simulação com 1042 ocupantes diversificados sem layout – planta original

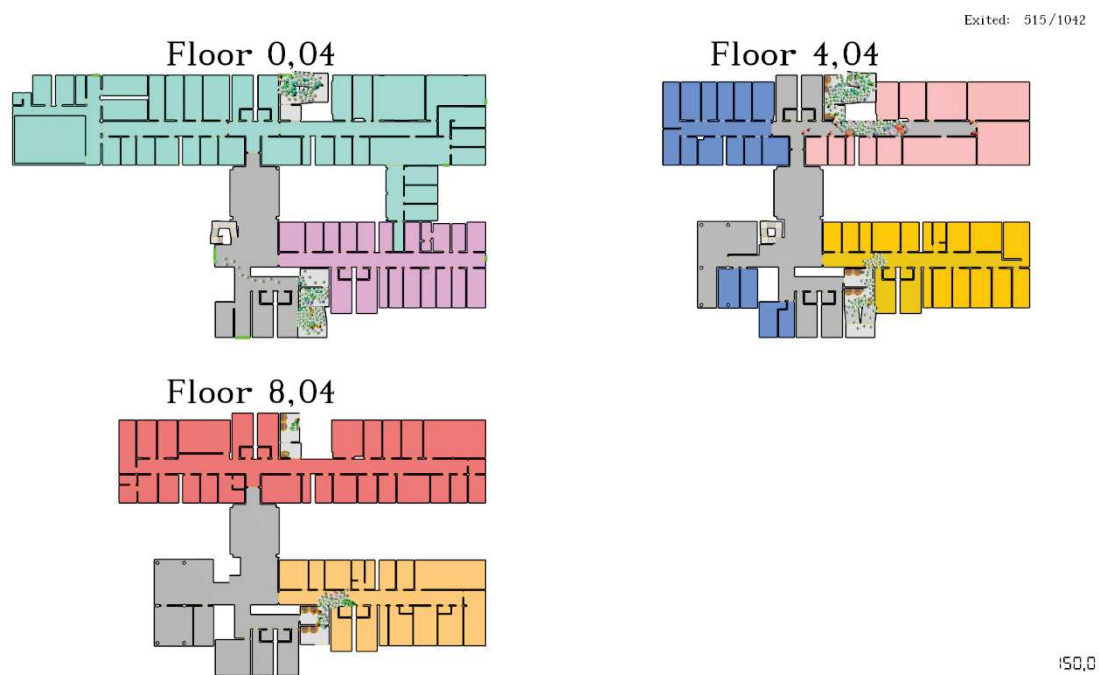


Figura R – Simulação com 1042 ocupantes diversificados sem layout – alteração portas antecâmara escada 03

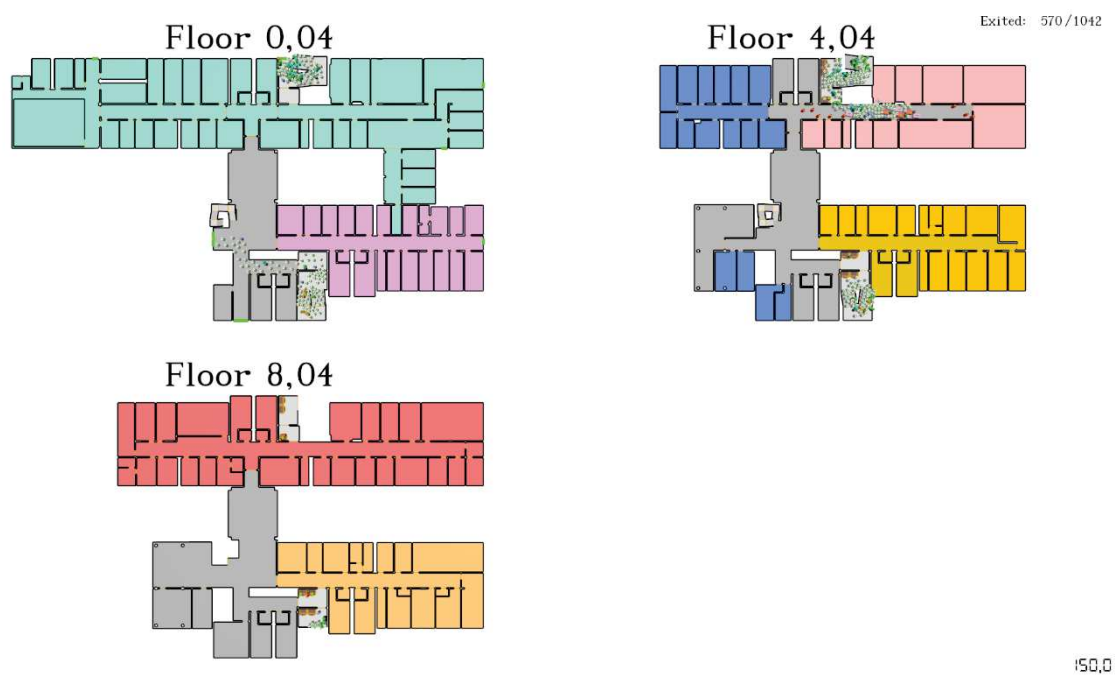


Figura S – Simulação com 1042 ocupantes diversificados sem layout – alteração da saída de descarga escada 03

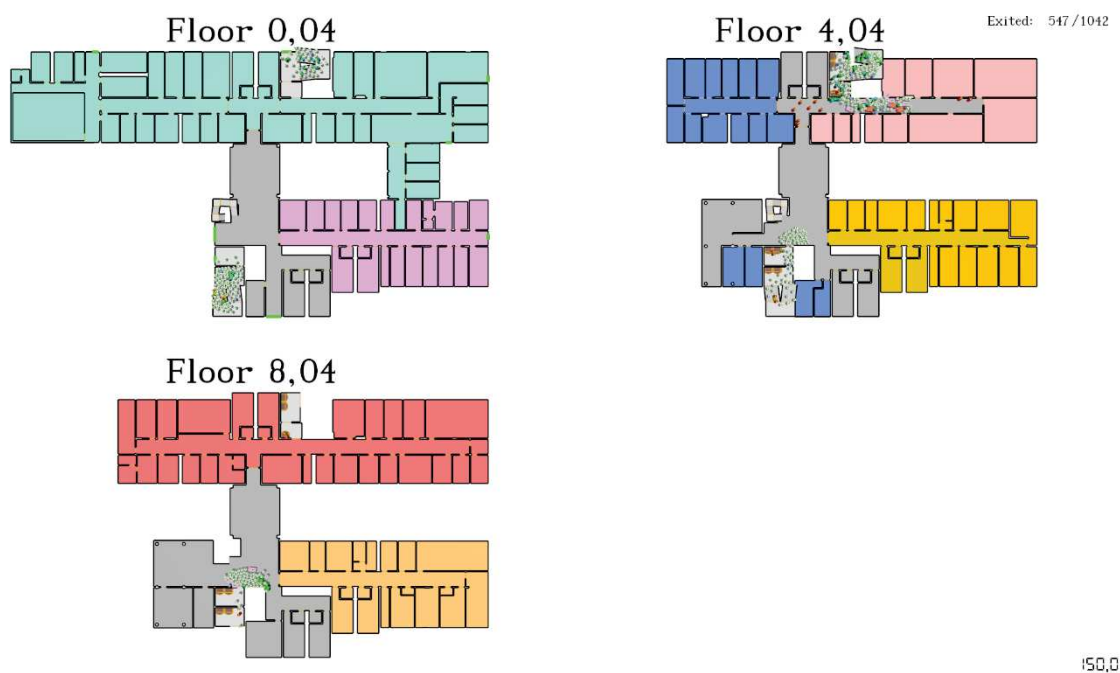


Figura T – Simulação com 1042 ocupantes diversificados sem layout – substituição da escada 01 por rampa

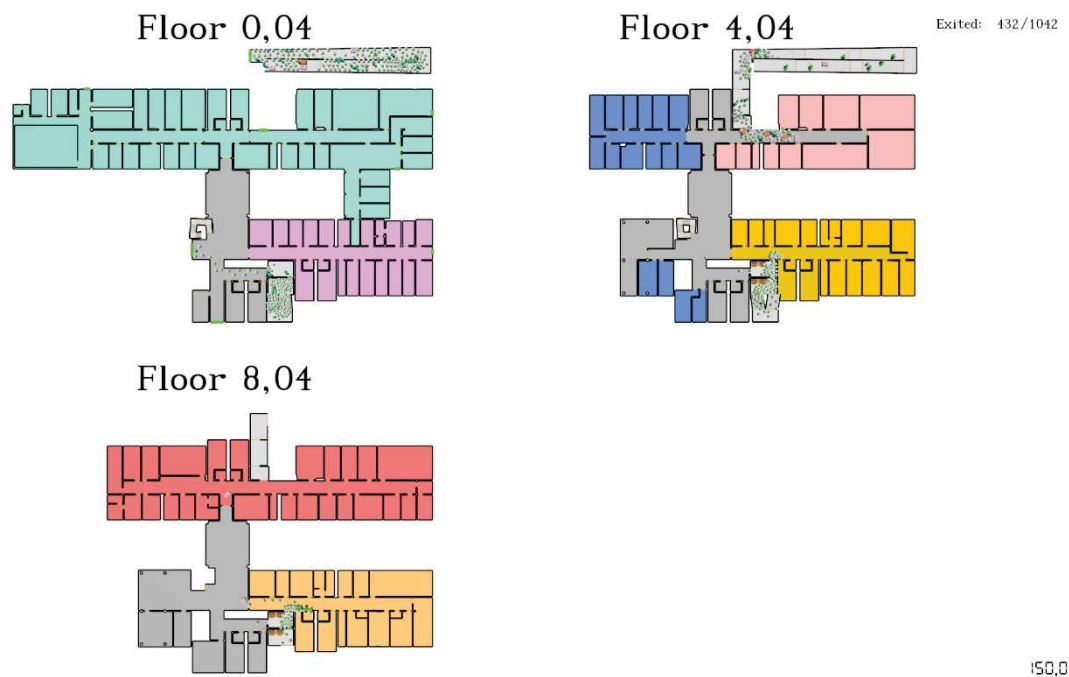


Figura U – Simulação com 1042 ocupantes padrão e layout – planta original



Figura V – Simulação com 1042 ocupantes padrão e layout – alteração portas antecâmara escada 03

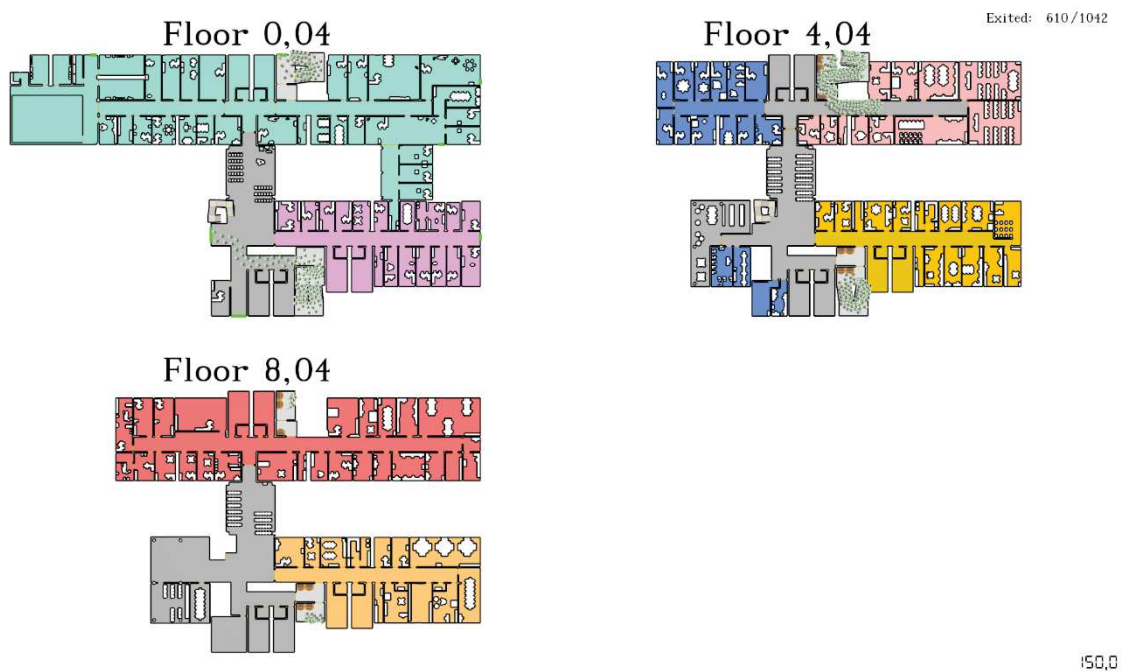


Figura W – Simulação com 1042 ocupantes padrão e layout – alteração da saída de descarga escada 03

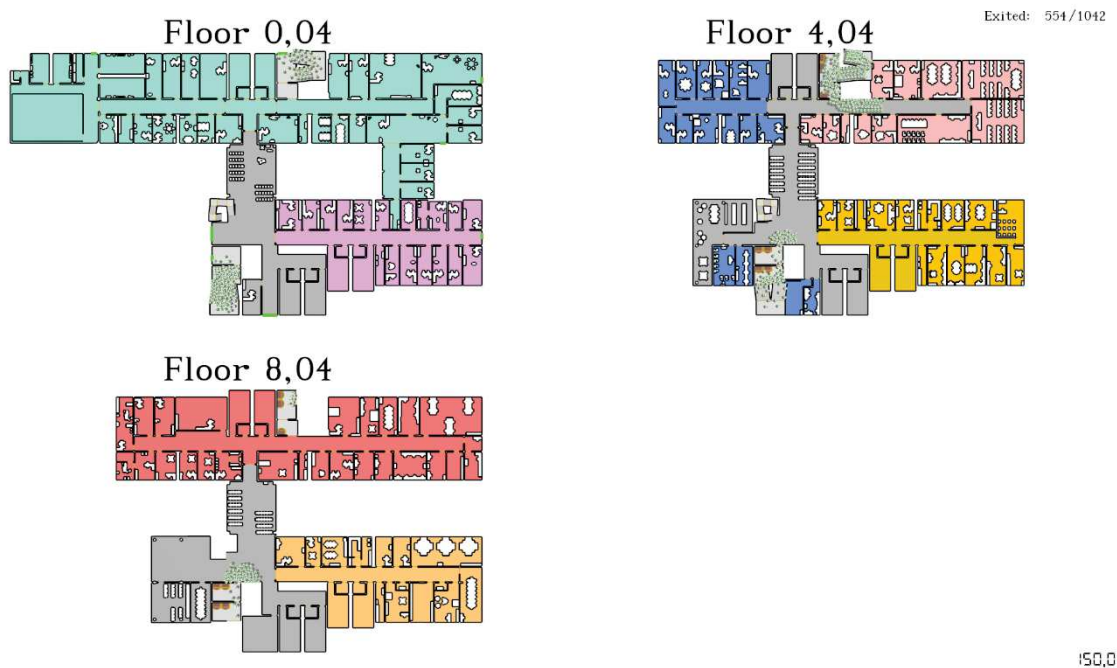


Figura X – Simulação com 1042 ocupantes padrão e layout – substituição da escada 01 por rampa

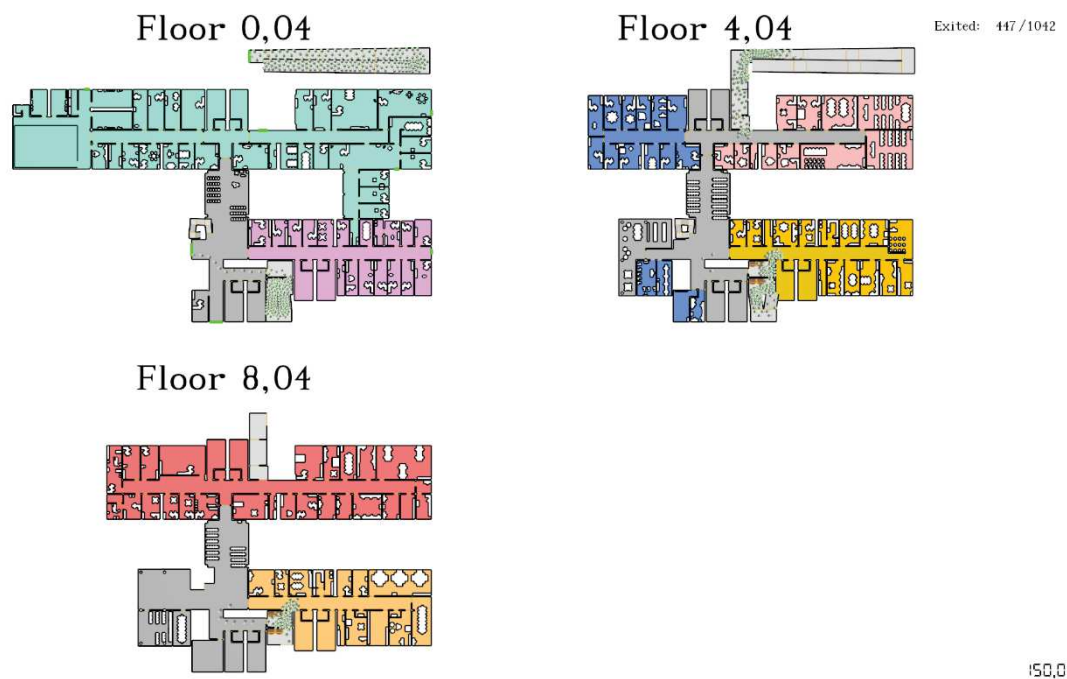


Figura Y – Simulação com 1559 ocupantes diversificados e layout – planta original

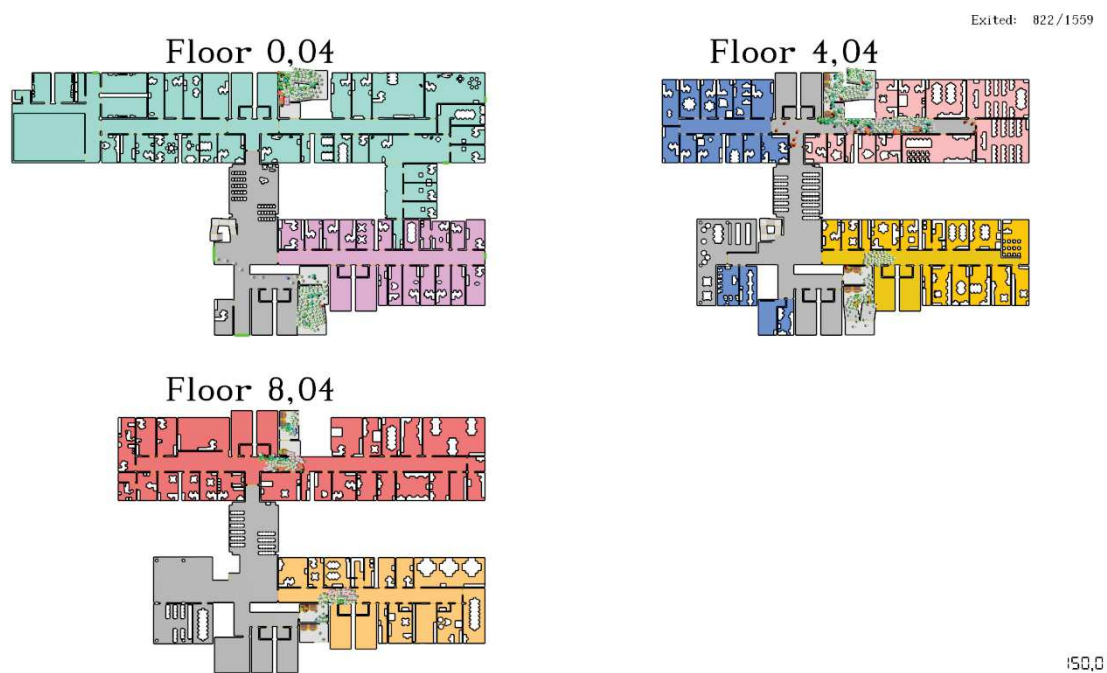


Figura Z – Simulação com 1559 ocupantes diversificados e layout – alteração portas antecâmara escada 03

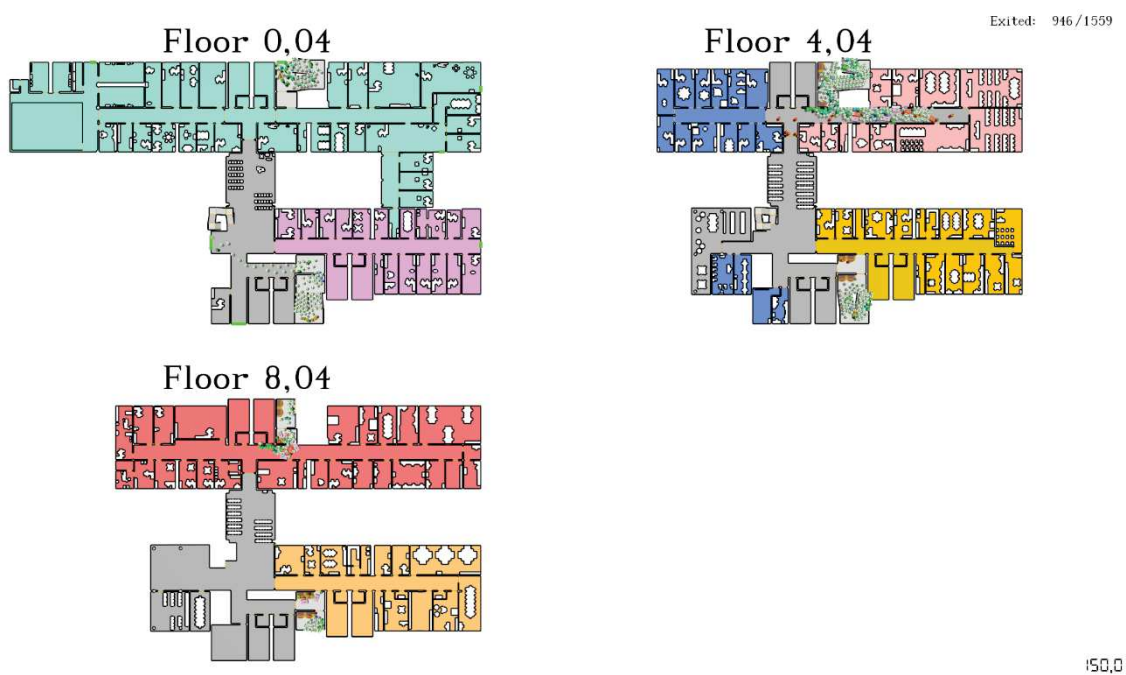


Figura AA – Simulação com 1559 ocupantes diversificados e layout – alteração da saída de descarga escada 03

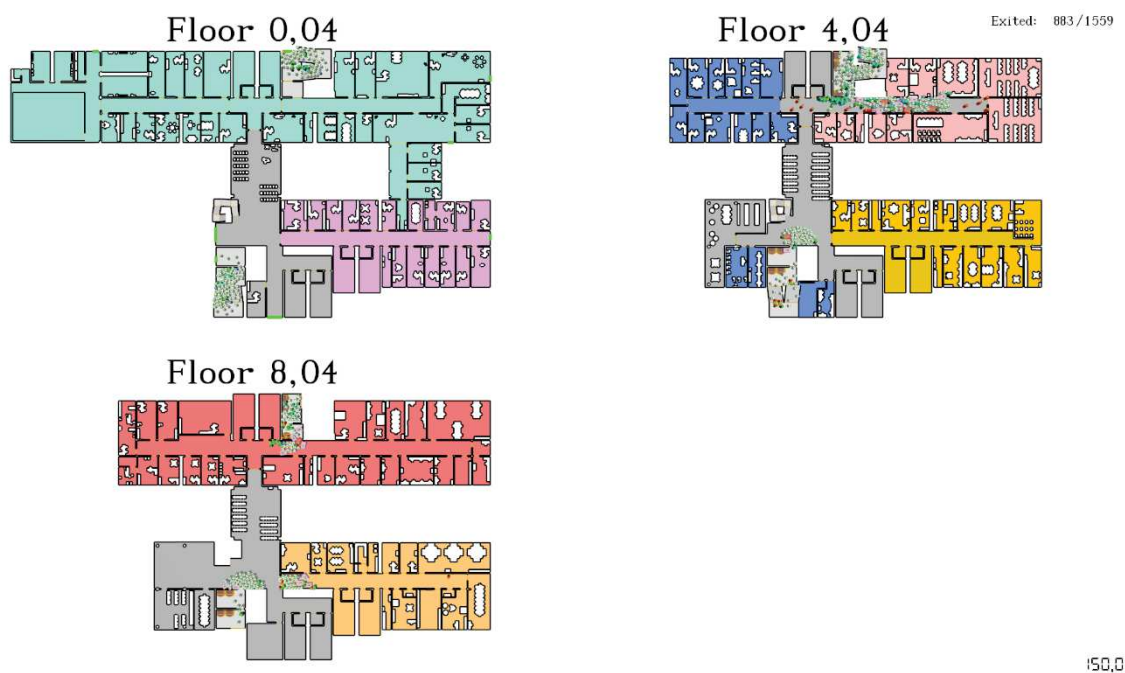


Figura BB – Simulação com 1559 ocupantes diversificados e layout – substituição da escada 01 por rampa

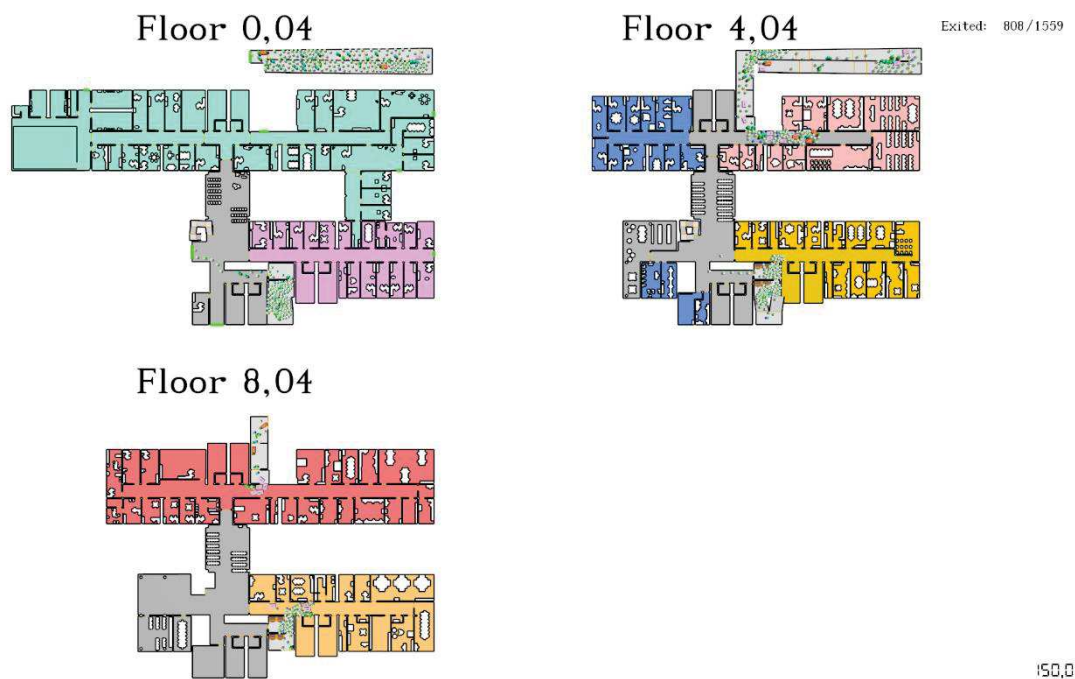


Figura CC – Simulação com 1559 ocupantes diversificados sem layout – planta original

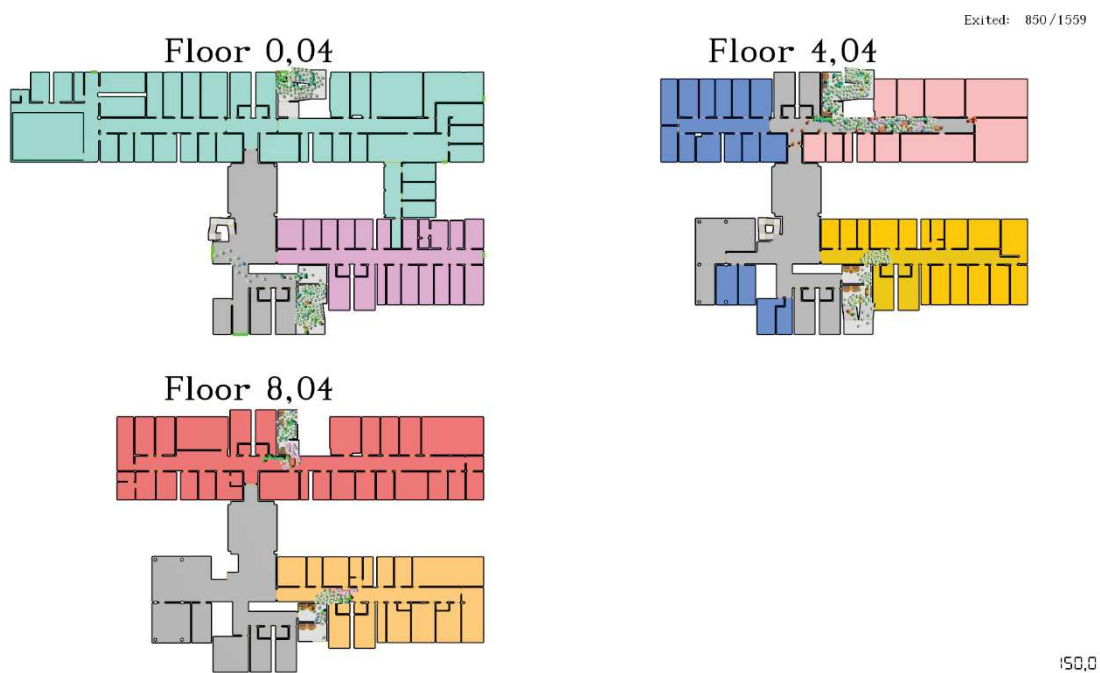


Figura DD – Simulação com 1559 ocupantes diversificados sem layout – alteração portas antecâmara escada 03

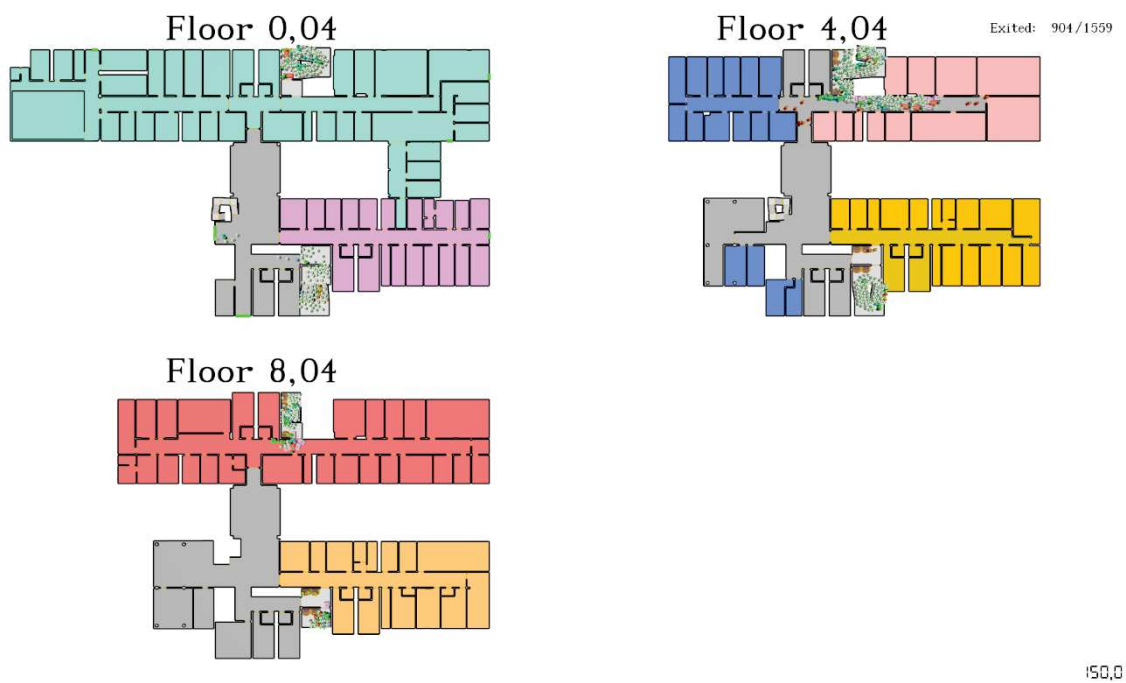


Figura EE – Simulação com 1559 ocupantes diversificados sem layout – alteração da saída de descarga escada 03

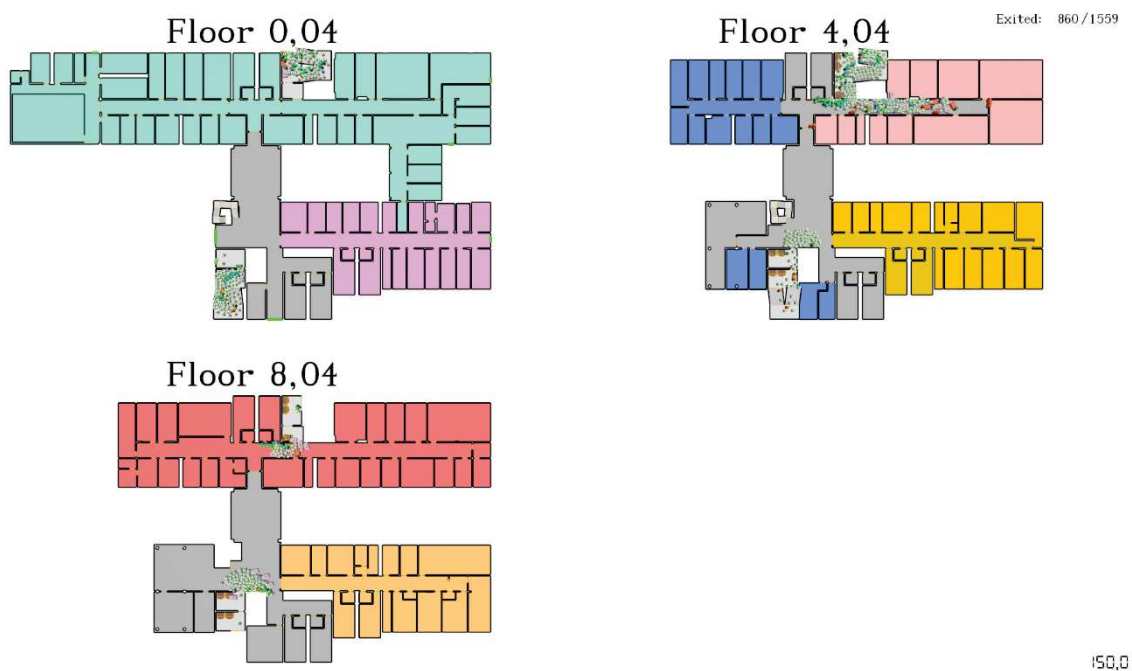


Figura FF – Simulação com 1559 ocupantes diversificados sem layout – substituição da escada 01 por rampa

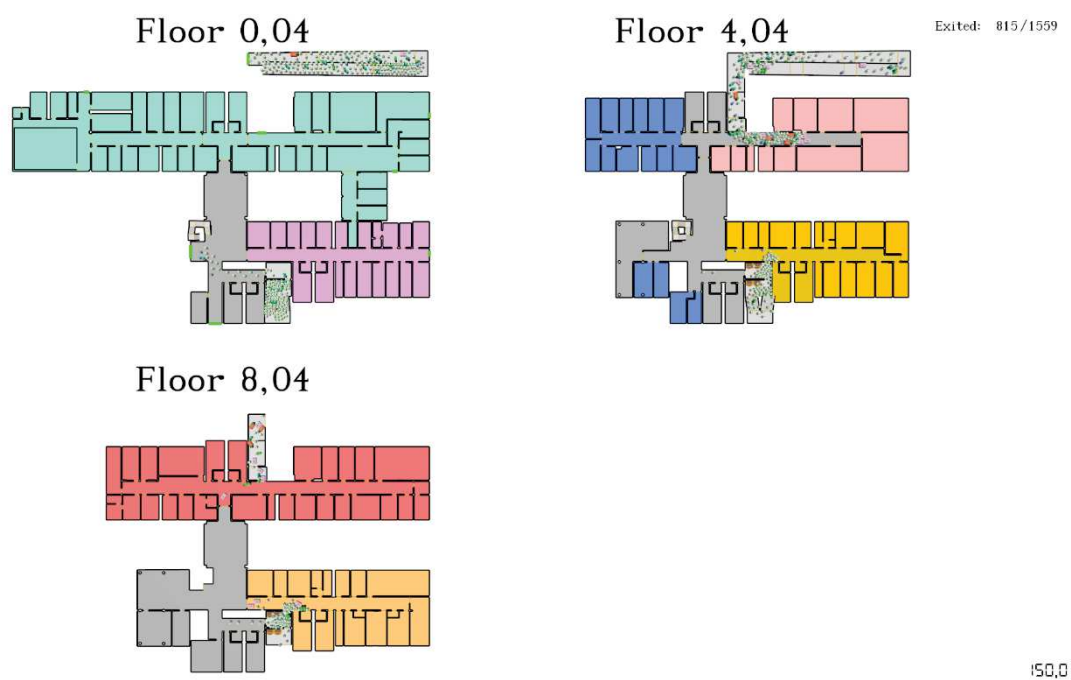


Figura GG – Simulação com 1559 ocupantes padrão e layout – planta original

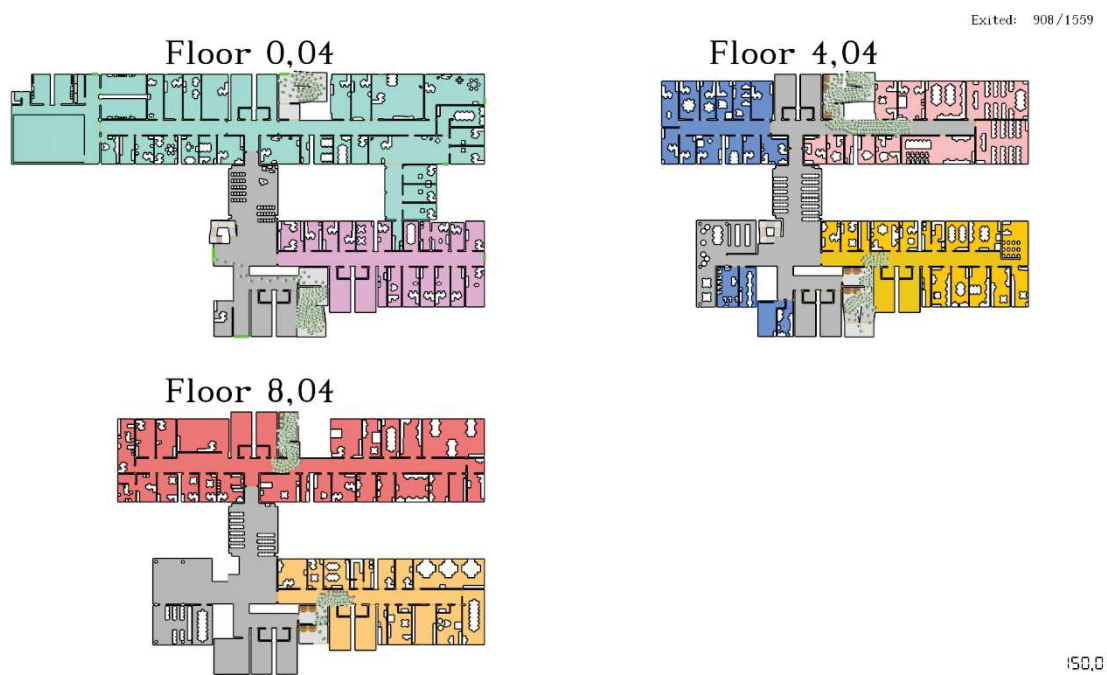


Figura HH – Simulação com 1559 ocupantes padrão e layout – alteração portas antecâmara escada 03

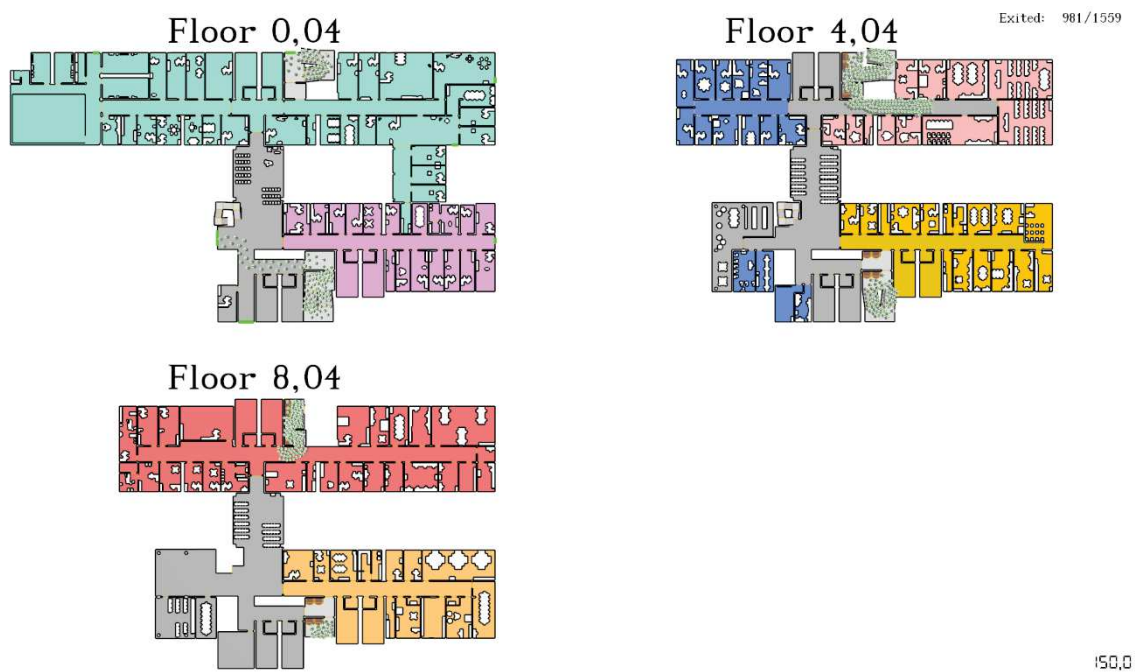


Figura II – Simulação com 1559 ocupantes padrão e layout – alteração da saída de descarga escada 03

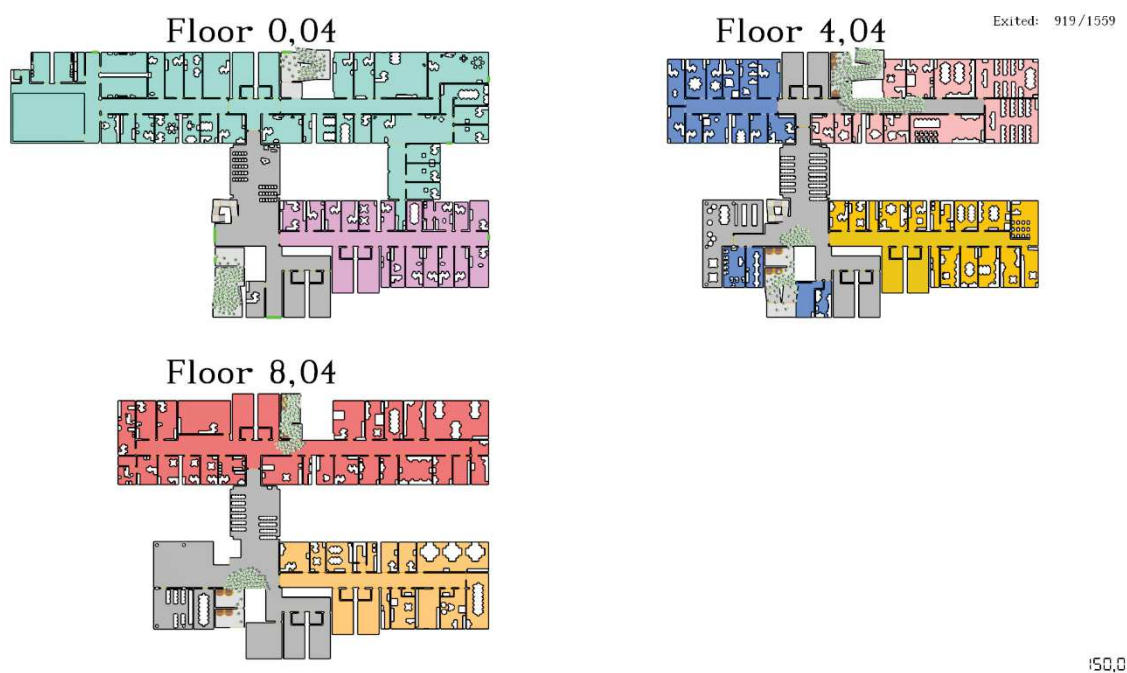


Figura JJ – Simulação com 1559 ocupantes padrão e layout – substituição da escada 01 por rampa

