

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
COMISSÃO DE GRADUAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Natane Rufino Crippa**

**SAÍDAS DE EMERGÊNCIA EM EDIFICAÇÕES  
EXISTENTES: VERIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA DAS  
ADEQUAÇÕES CONFORME REGULAMENTAÇÕES  
VIGENTES ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

Porto Alegre  
Agosto de 2023

**NATANE RUFINO CRIPPA**

**SAÍDAS DE EMERGÊNCIA EM EDIFICAÇÕES  
EXISTENTES: VERIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE  
ADEQUAÇÕES CONFORME REGULAMENTAÇÕES  
VIGENTES ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de  
Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia  
da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos  
requisitos para obtenção do título de Engenheira Civil

**Orientador: Fabrício Longhi Bolina**

Porto Alegre  
Agosto de 2023

**NATANE RUFINO CRIPPA**

**SAÍDAS DE EMERGÊNCIA EM EDIFICAÇÕES  
EXISTENTES: VERIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE  
ADEQUAÇÕES CONFORME REGULAMENTAÇÕES  
VIGENTES ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRA CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pelo/a Professor/a Orientador/a e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, Agosto de 2023

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Fabrício Longhi Bolina (UFRGS)**

PhD pela Universidade de Coimbra

Orientador

**Profa. Ângela Gaio Graeff (UFRGS)**

PhD pela Universidade de Sheffield

**Eng. Juliana Altieri Hofstatter**

Eng. Civil pelo Instituto Porto Alegre da Igreja Metodista

# SAÍDAS DE EMERGÊNCIA EM EDIFICAÇÕES EXISTENTES: VERIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA DAS ADEQUAÇÕES CONFORME REGULAMENTAÇÕES VIGENTES ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

## RESUMO

As edificações existentes precisam ser adequadas aos novos requisitos de segurança ao incêndio praticados pelas normas vigentes, visando readequar o nível de segurança mínimo prescrito aos usuários. Este trabalho avaliou o caso de uma edificação com área total de 6.168 m<sup>2</sup> usada para atividades de ensino. Ela possui 10 pavimentos e sua rota de fuga ocorre por meio de uma escada não enclausurada e uma porta no térreo, o que diverge das exigências atualmente prescritas pelas regulamentações. Após as reformas e readequações, o prédio contará com 3 novas saídas para área externa e uma escada adicional, totalizando uma nova área de 7.806 m<sup>2</sup>. De modo a verificar a eficiência dos ajustes, a análise se deu pela perspectiva do tempo de evacuação total da população do prédio admitindo a situação anterior e posterior à adequação. Na análise, considerou-se diferentes hipóteses de lotações e a existência de obstáculos. Os resultados mostraram que a readequação da edificação conforme a regulamentação em vigor reduziu em até 49,8% o tempo total de evacuação, contribuindo também para distribuição da população e redução das aglomerações, embora a possibilidade de escolha entre as rotas tenha provocado colisões entre os ocupantes.

Palavras-chave: Saídas de emergência. Simulação computacional. Simulação de evacuação. Segurança contra incêndio. PPCI. FACED.

## ABSTRACT

Existing buildings must be adapted to the current fire safety standards in order to meet the minimum prescribed safety level for occupants. In this study, a building with a total area of 6,168 m<sup>2</sup> used for educational purposes was investigated. It is a 10-story building whose evacuation route is through an unenclosed staircase and a door on the first floor, which deviates from the current regulations. After the remodeling and adjustments, the building will have 3 new exits leading to the outside and an additional stairwell, resulting in a new area of 7,806 m<sup>2</sup>. To evaluate the effectiveness of these changes, the analysis focused on the total evacuation time of the building population before and after the adaptations. The analysis considered numerous occupancy scenarios and barriers. The results showed that bringing the building into compliance with current regulations reduced the total evacuation time by up to 49.8% and also contributed to better population distribution and less congestion, although the option to choose between different routes led to collisions among occupants.

Keywords: Emergency exits. Computational simulation. Evacuation simulation. Fire safety. PPCI. FACED.

## **LISTA DE SIGLAS**

RT – Resolução Técnica

CBMRS – Corpo de Bombeiros Militar do Rio Grande do Sul

PPCI – Plano de Prevenção e Proteção Contra Incêndios

FACED – Faculdade de Educação

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFRN - Universidade Federal do Rio Grande do Norte

## 1. INTRODUÇÃO

Em geral, as regulamentações existentes para o dimensionamento de saídas de emergência têm como base o uso do edifício e lotação (DUARTE; ONO; BENTO, 2021). Para o desenvolvimento de edificações mais seguras, é essencial entender os diferentes fatores que influenciam no processo de evacuação em uma situação de emergência, que vão desde características projetadas da edificação até o comportamento das pessoas (KULIGOWSKI, 2016). A utilização de *softwares* de simulação computacional pode contribuir para análise da segurança de edificações, permitindo uma compreensão mais abrangente do comportamento de abandono de seus usuários, bem como da dinâmica de um incêndio.

Na modelação computacional de evacuação, o comportamento humano e a geometria do edifício são fatores preponderantes. Os usuários são caracterizados pelo seu perfil de comportamento, envolvendo a definição de saídas a serem utilizadas pelos mesmos, tempo de pré-evacuação, velocidade de caminamento e características físicas de cada ocupante, dentre outros. Segundo Purser e McAllister (2016), a velocidade média de uma pessoa adulta sem influência de fumaça é de 1,2 m/s, enquanto a velocidade de jovens estudantes universitários é de 1,5 m/s de acordo com estudos realizados por Tanaka (2002 apud ONO, 2010, p. 79)<sup>1</sup>. Em escadas, a velocidade de deslocamento dos indivíduos é reduzida para um valor máximo de 1,05 m/s (GOUVEIA; ETRUSCO, 2002). Já para crianças entre 6 e 12 anos de idade, a velocidade média de caminamento é de 1,47 m/s, conforme Ono, Valentin e Vittorino (2012).

Em relação às características físicas, estudos realizados por Bastos *et al.* (2014) apontam que mulheres e homens adultos possuem largura média de ombros de 44,7 cm e 48,8 cm e altura média de 1,62 m e 1,74 m, respectivamente. Crianças entre 6 e 12 anos possuem largura média de ombros entre 27 cm e 33 cm e altura entre 1,17 m e 1,50 m, conforme prescrito pela NBR 15800 (ABNT, 2009).

Ademais, prever o comportamento humano em situação de pânico é um desafio insólito pois, segundo Friberg e Hjelm (2014), as pessoas não agem todas da mesma forma nessas situações, seus comportamentos variam conforme idade, gênero, grau de educação, experiências prévias e cultura. Também são influências no comportamento o ambiente em que estão, treinamento e as informações recebidas pelas pessoas (KULIGOWSKI, 2016).

Nesse sentido, Lei e Tai (2019) estudaram por meio de simulação computacional a influência da posição das escadas e portas de saída de emergência na evacuação de uma edificação composta por dormitórios. Os cenários simulados variaram, além da posição, a quantidade de escadas e portas, porém mantendo sempre a mesma largura total. Os autores concluíram que, apesar de o tempo de evacuação ser muito similar nos cenários com uma e duas escadas, ambos com uma porta de saída, os resultados foram melhores com duas escadas pois a taxa de fluxo se manteve mais estável, evitando, assim, que pessoas mais lentas se perdessem do restante e entrassem em pânico. Além disso, aumentar o número de portas se mostrou favorável pois gerou menores distâncias a serem percorridas, menos aglomerações e o tempo de evacuação teve uma redução de aproximadamente 25%, sendo que no melhor dos cenários as portas se localizavam em frente às escadas.

Também provando a importância da localização das saídas de emergência, Kodur, Venkatachari e Naser (2020) realizaram simulações de evacuação no *Pathfinder* testando diferentes quantidades e posições de escadas em uma edificação de escritórios de 32 pavimentos, concluindo que a adição de escadas não necessariamente provoca redução do

---

<sup>1</sup> ONO, Rosaria. O impacto do método de dimensionamento das saídas de emergência sobre o projeto arquitetônico de edifícios altos: uma análise crítica e proposta de aprimoramento. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

45 tempo total de evacuação, visto que dependendo da localização da escada extra poderão ocorrer  
46 aglomerações.

47 Em se tratando de edificações de universidades, Montenegro (2016) realizou simulações  
48 de evacuação de três edifícios da UFRN com áreas entre 4 e 8 mil m<sup>2</sup>, de 3 a 5 pavimentos e  
49 população total entre 1.210 e 2.438 pessoas. Aos ocupantes foi atribuída a velocidade de 1,3  
50 m/s e altura de 1,65 m. Dentre os cenários estudados, foi avaliada a criação de uma saída de  
51 emergência pelo último andar, a qual apresentou resultados diferentes para cada prédio. Em um  
52 deles, o cenário com esta saída obteve uma redução de 35% no tempo total de evacuação,  
53 enquanto nos outros dois o tempo total foi pouco influenciado, com redução de 13 s e 16 s,  
54 sendo que o maior tempo de evacuação neste cenário foi de 233,8 s. A autora concluiu que a  
55 pouca redução no tempo ocorreu devido às dificuldades de locomoção envolvidas, como a  
56 necessidade de as pessoas subirem a escada ao invés de descer e a existência de dois sentidos  
57 de movimento (subida e descida) podem gerar congestionamentos.

58 No caso de edifícios de elevada população, tendo em vista a dificuldade de se realizar  
59 experimentos com pessoas reais, devido aos custos, tempo, riscos, questões psicológicas e  
60 disponibilidade de participantes, entre outros, modelos de simulação passaram a ser  
61 desenvolvidos com o avanço da tecnologia. Os programas de simulação computacional  
62 permitem avaliar se uma edificação existente ou em fase de projeto garante a segurança de seus  
63 usuários através da análise da interação dos ocupantes com a edificação (KHAMIS *ET AL.*,  
64 2020).

65 Sendo assim, este trabalho tem o intuito de analisar, por meio de simulação  
66 computacional, o processo de evacuação da Faculdade de Educação da Universidade Federal  
67 do Rio Grande do Sul (UFRGS), localizada na cidade de Porto Alegre, estado do Rio Grande  
68 do Sul, no Brasil. O estudo baseou-se no tempo total de evacuação e na dinâmica de movimento  
69 dos usuários da edificação, verificando, através da análise crítica dos resultados, a eficiência  
70 das alterações de *layout* requeridas pelo projeto de segurança ao incêndio conforme as  
71 regulamentações vigentes. A edificação atualmente possui 6.168 m<sup>2</sup>. Dentre estes ajustes está  
72 prevista a execução de nova escada e saídas de emergência para a área externa no térreo, que  
73 resultarão em uma área total da edificação em torno de 7.806 m<sup>2</sup>. Para tanto, realizaram-se 8  
74 simulações de evacuação, as quais levaram em consideração os *layouts* atual e futuro da  
75 edificação, diferentes lotações e a existência de obstáculo em rota de fuga (saída de  
76 emergência). Seus ocupantes tiveram velocidade e características físicas definidas de acordo  
77 com sexo e idade, e foram distribuídos nos pavimentos conforme determinações da RT CBMRS  
78 n° 11 Parte 1 (2016).

## 79 **2. MÉTODO DE PESQUISA**

### 80 **2.1 Aspectos gerais**

81 O estudo foi desenvolvido no prédio da FACED, o qual foi modelado no programa com  
82 sua configuração atual (L1, acrônimo de *Layout 1*) e futura (L2, acrônimo de *Layout 2*). Por se  
83 tratar de uma edificação localizada no estado do Rio Grande do Sul, a população foi calculada  
84 conforme a RT n° 11 Parte 1 (2016) do CBMRS referente a saídas de emergência e inserida  
85 randomicamente nos ambientes, levando em consideração também as lotações adotadas nos  
86 cenários. Após, foram atribuídos perfis a esta população de acordo com suas características  
87 físicas e realizadas as simulações, cujos cenários são descritos no item 2.4. Os resultados foram  
88 analisados correlacionando os cenários de cada modelo da edificação e os modelos entre si.

89

## 90 2.2 Edificação

91 A FACED se localiza no campus centro da UFRGS, na cidade de Porto Alegre. O  
92 edifício possui 10 pavimentos acima do solo com 4,08 m de pé direito cada e sua área total  
93 atualmente é de 6.168 m<sup>2</sup>. A Figura 1 apresenta a fachada da edificação em questão.

94

Figura 1 – Fachada da FACED

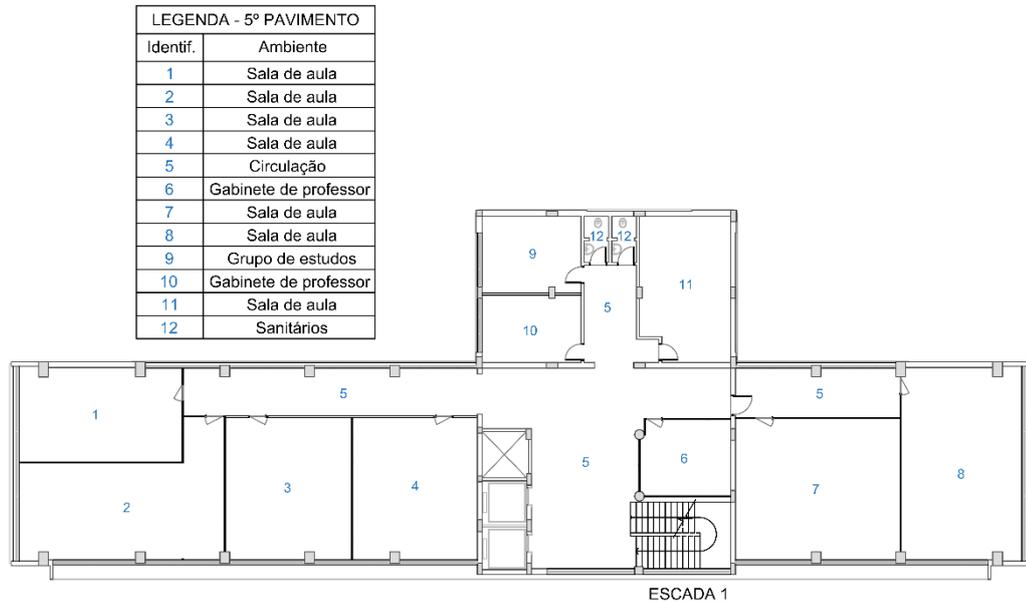
95  
96

Fonte: UFRGS (2020).

97 O prédio é composto em sua maior parte por salas de aula e gabinetes de professores e  
98 o *layout* de seus pavimentos varia: o térreo possui um auditório, laboratório, diretórios  
99 acadêmicos, brinquedoteca e áreas de apoio e técnicas; o 2º andar é ocupado pela biblioteca e  
100 salas de estudos; as salas de aula se concentram do 3º ao 6º pavimento; do 7º ao 9º há gabinetes  
101 de professores, secretarias e atividades de apoio à educação em geral; já o 10º pavimento possui  
102 uma área menor que o restante, sendo composto por áreas de manutenção, sala de informática,  
103 gabinete e núcleo de estudos. A Figura 2 apresenta o 5º pavimento da edificação atual, cujo  
104 *layout* se assemelha ao restante dos pavimentos.

105

Figura 2 – 5º pavimento da edificação atual (L1)

106  
107

Fonte: Elaborado pela autora.

108

109

110

111

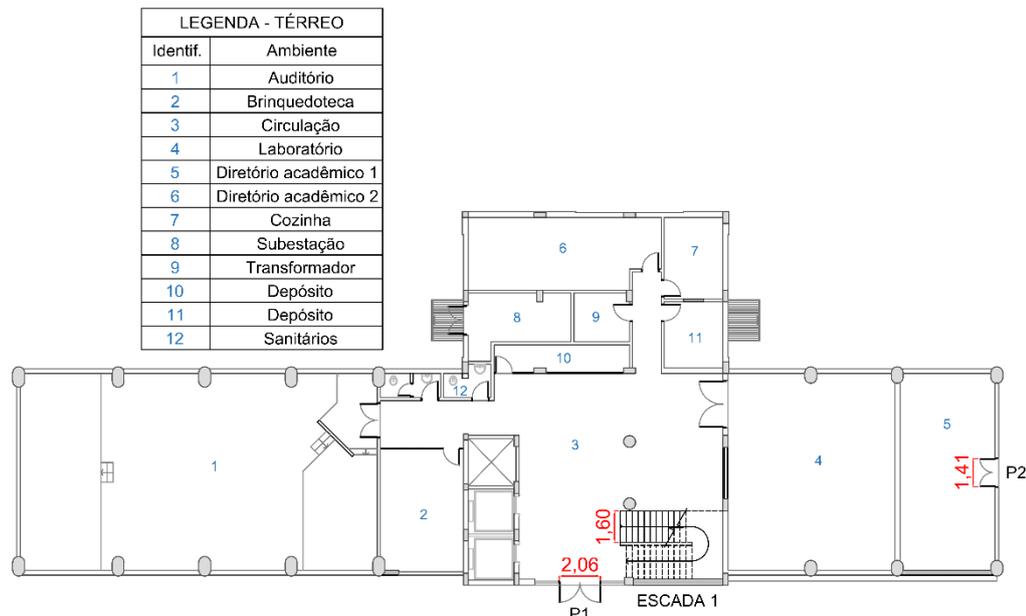
112

113

A rota de fuga da edificação é por meio de uma escada não compartimentada de 1,60 m de largura (Escada 1, conforme Figura 3), e a saída de emergência final no térreo é uma porta de folha dupla com vão de dimensões 2,06x2,37 m (porta P1, conforme Figura 3). Há uma outra saída para área externa no pavimento térreo, no diretório acadêmico 1, que constitui um ambiente com acesso independente (porta P2, conforme Figura 3). A Figura 3 apresenta as saídas e escada de emergência atuais da edificação.

114

Figura 3 - Saídas de emergência do pavimento térreo da edificação atual (L1)

115  
116

Fonte: Elaborado pela autora.

117

118

119

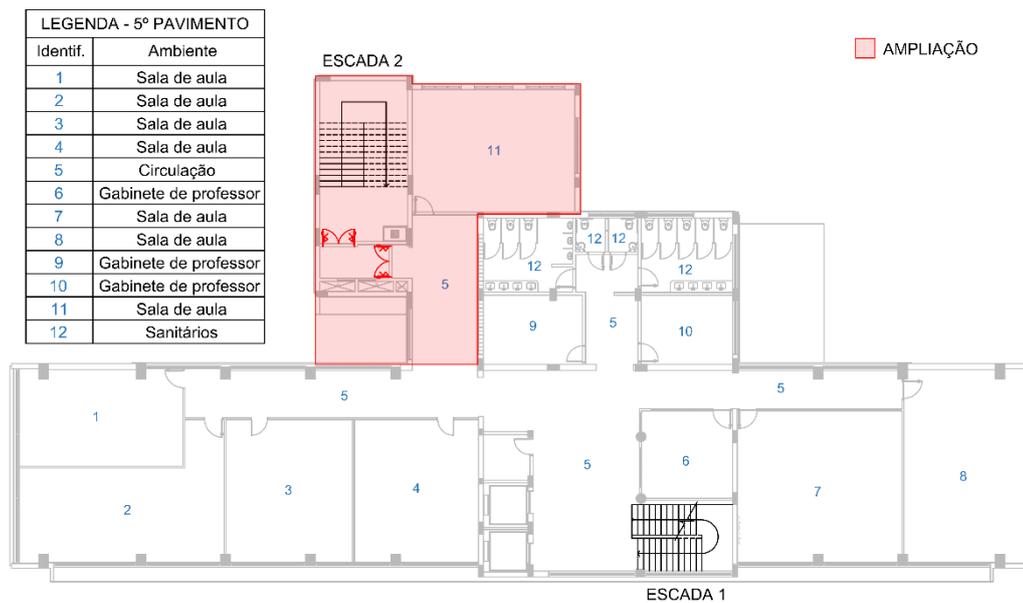
120

Em razão da adequação desta edificação às exigências atuais de segurança contra incêndio, estará sendo construída uma escada enclausurada (Escada 2, conforme Figura 4) adjacente à estrutura existente, a qual contará com antecâmara e área de resgate de cadeirantes. A nova circulação de acesso à escada 2 será anexada à circulação já existente nos pavimentos

121 2 a 7, enquanto entre os pavimentos 8 e 10 serão removidos ambientes para esta adequação.  
 122 Além disso, conforme mostra a Figura 4, os banheiros serão ampliados para atender pessoas  
 123 com mobilidade reduzida e serão acrescentadas novas salas de aula, gabinetes e laboratório de  
 124 informática. Tais ações promoverão alterações de *layout* nos pavimentos e na área total da  
 125 edificação, passando para 7.806 m<sup>2</sup>, um aumento de 1.638 m<sup>2</sup> (26,5 %) em relação à edificação  
 126 existente. As ocupações da edificação não sofrerão alteração, entretanto, com o aumento de  
 127 área, a sua população máxima terá um aumento de aproximadamente 6%. A Figura 4 apresenta  
 128 o 5º pavimento da edificação após a reforma, cujas modificações se assemelham com o que será  
 129 executado nos demais andares.

130

Figura 4 – 5º pavimento da edificação após reforma (L2)

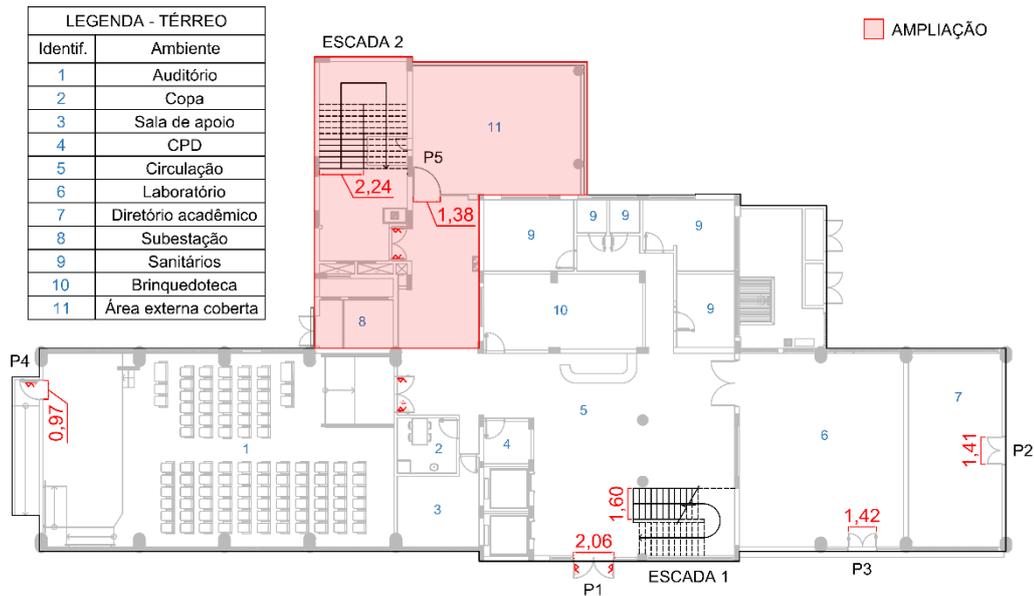
131  
132

Fonte: Elaborado pela autora.

133 No pavimento térreo, o laboratório terá uma saída para a área externa (P3, conforme  
 134 Figura 5) e o auditório terá rampas nas saídas e uma nova porta no palco (P4, conforme Figura  
 135 5), totalizando duas rotas de fuga do local. A porta P1 permanecerá com as mesmas dimensões  
 136 e será executada uma nova porta (P5, conforme Figura 5) ao lado da escada 2, com 1,38 m de  
 137 largura. A Figura 5 apresenta as saídas e escadas de emergência futuras da edificação.

138

Figura 5 - Saídas de emergência do pavimento térreo da edificação após reforma (L2)

139  
140

Fonte: Elaborado pela autora.

### 141 2.3 População

142 Segundo o Decreto Estadual nº 51.803/2014 e suas alterações, regulamentação usada no  
 143 estado do Rio Grande do Sul, a edificação é classificada como de grau de risco de incêndio  
 144 baixo, com altura acima de 30 m (tipo VI) e sua ocupação principal é E-1 (educação superior -  
 145 graduação). Como ocupações subsidiárias tem-se D-1 (atividades de apoio à educação), E-5  
 146 (brinquedoteca), F-1 (atividades de bibliotecas e arquivos) e F-5 (auditório). Para ambos  
 147 modelos da edificação, as ocupações são as mesmas. A Tabela 1 apresenta os dados utilizados  
 148 para o dimensionamento populacional conforme a RT CBMRS nº 11.

149

Tabela 1 – Dados para dimensionamento populacional

Ocupação		População
Grupo	Divisão	
D	D-1	1 pessoa por 7 m <sup>2</sup> de área
E	E-1	1 pessoa por 1,5 m <sup>2</sup> de área de sala de aula
	E-5	
F	F-1	1 pessoa por 3 m <sup>2</sup> de área
	F-5	1 pessoa por m <sup>2</sup> de área

150

Fonte: Adaptado da RTCBMRS nº 11.

151 Para o auditório do pavimento térreo no L2, adotou-se o determinado na nota específica  
 152 (N) do Anexo A da RT supracitada, segundo a qual é admitido o *layout* dos assentos fixos  
 153 apresentado em planta baixa para o cálculo da população, enquanto para o L1 o cálculo  
 154 populacional do auditório levou em consideração o determinado para divisão F-5, visto os  
 155 assentos do ambiente não serem fixos. A Tabela 2 apresenta a população máxima calculada  
 156 para cada pavimento da edificação conforme *layouts* L1 e L2.

157

Tabela 2 – População por pavimento nos layouts L1 e L2

Pavimento	População máxima	
	L1	L2
Térreo	179	144
2º pavimento	139	171
3º pavimento	209	229
4º pavimento	251	269
5º pavimento	251	265
6º pavimento	258	269
7º pavimento	104	111
8º pavimento	75	82
9º pavimento	76	78
10º pavimento	18	37
<b>Total</b>	<b>1560</b>	<b>1655</b>

158

Fonte: Elaborado pela autora.

159

160

161

162

163

164

Tendo em vista que o diretório acadêmico 1 possui população de 7 pessoas e acesso próprio pela porta P2, na lotação máxima da edificação, o total de pessoas que deve utilizar a porta P1 no L1 é de 1553 usuários. Para o L2, considerando a população máxima admitida para a edificação conforme cálculo populacional da RT CBMRS nº 11 Parte 1 (2016), a população que deve utilizar a porta P2 não se altera e as 1648 pessoas restantes se dividem entre P1, P3, P4 e P5.

165

## 2.4 Cenários adotados

166

167

168

169

170

171

172

173

174

175

176

177

178

179

180

181

182

183

184

185

186

187

Os cenários adotados se basearam nos dois modelos (L1 e L2) da edificação, sendo os cenários de 1 a 4 referentes ao L1 e de 5 a 8, ao L2. O C1 teve como objetivo representar o pior caso de evacuação, assumindo a edificação 100% ocupada, o qual condiz com a lotação determinada pela legislação para fins de dimensionamento de saídas de emergência. O C2 simulou o caso do auditório com lotação máxima, porém o restante da edificação com 50% de sua capacidade limite. O C3 adotou a hipótese do auditório vazio e o restante dos ambientes com 100% da população. Já o C4 testou a mesma situação de população do C1, porém com a adição de uma possível obstrução da rota de fuga, representando, por exemplo, um ocupante que perdeu a consciência devido ao pânico ou esmagamento provocado pela multidão em rota de fuga. Segundo Ruddy (2017), lesões por conta desse acontecimento, como inconsciência, parada cardiorrespiratória e falecimento, podem ocorrer, variando entre as pessoas e de acordo com o tempo e força exercida sobre as mesmas. Nesse sentido, um obstáculo foi inserido na circulação em frente à escada 1 no 6º pavimento, devido ao fato de ter sido o de maior aglomeração e um dos últimos a evacuar. A configuração geométrica do obstáculo, neste caso, varia de acordo com o tempo decorrido, características físicas da pessoa e dinâmica da evacuação, sendo, desse modo, complexo representá-la com precisão. Portanto, para simplificação da análise, foi adotado um cilindro (formato utilizado pelo programa para representação dos indivíduos) com diâmetro de 48 cm (valor dentro do intervalo de larguras utilizado para os ocupantes), o qual se manteve no local escolhido desde o instante 0 s.

Os casos C5, C6 e C7 assumiram, respectivamente, os mesmos critérios do C1, C2 e C3, porém aplicados ao L2. O C8 foi adotado com o intuito de avaliar a influência das alterações propostas sobre a população da edificação antiga, sendo distribuída as mesmas populações

188 máximas por pavimento do L1 no modelo do L2. A Tabela 3 apresenta um resumo dos cenários  
 189 e modelos usados.

190

Tabela 3 – Estrutura das simulações de evacuação

Cenário	Modelo	População*			Obstrução
		Auditório	Torre	Total	
C1	L1	100% (135)	100% (1425)	100% (1560)	Não
C2		100% (135)	50% (713)	54,4% (848)	Não
C3		0% (0)	100% (1425)	91,3% (1425)	Não
C4		100% (135)	100% (1425)	100% (1560)	Sim
C5	L2	100% (102)	100% (1553)	100% (1655)	Não
C6		100% (102)	50% (776)	53,1% (878)	Não
C7		0% (0)	100% (1553)	93,8% (1553)	Não
C8		100% L1 (135)	100% L1 (1425)	100% L1 (1560)	Não

191

\*Em parênteses é informado o número total de usuários.

192

Fonte: Elaborado pela autora.

## 193 2.5 Análise computacional

### 194 2.5.1 Parametrização

195 Visando adequar as simulações à realidade de uso da edificação, os perfis atribuídos aos  
 196 indivíduos foram divididos em perfil de adultos e perfil de crianças, tendo em vista a existência  
 197 de uma brinquedoteca em ambos *layouts* da FACED. Para os adultos, cujo perfil é  
 198 preponderantemente formado por jovens estudantes universitários, foi atribuído o intervalo de  
 199 velocidade entre 1,2 e 1,5 m/s, com base nos estudos de Purser e McAllister (2016) e Tanaka  
 200 (2002 apud ONO, 2010, p. 79)<sup>2</sup>. Nas escadas, foi imposta a limitação de 1,05 m/s, fundamentada  
 201 no estudo de Gouveia e Etrusco (2002). Para largura dos ombros foi utilizado o intervalo de  
 202 valores entre 44,7 cm e 48,8 cm, e para altura, o intervalo de 1,62 m a 1,74 m, considerados  
 203 como valores médios para mulheres e homens, respectivamente, segundo Bastos *et al.* (2014).

204 Já para a população da brinquedoteca, a velocidade adotada foi de 1,47 m/s, com base  
 205 nas simulações de abandono em escola realizadas por Ono, Valentin e Vittorino (2012). A  
 206 largura dos ombros de crianças variou entre 27 cm e 33 cm e a altura, entre 1,17 m e 1,50 m,  
 207 segundo dados tabelados de medidas de corpo infantil da NBR 15800 (ABNT, 2009). O restante  
 208 dos parâmetros, foram mantidos conforme configurações padrões do programa. A Tabela 4  
 209 apresenta os valores inseridos no programa, que foram os mesmos para todos os cenários.

<sup>2</sup> ONO, Rosaria. O impacto do método de dimensionamento das saídas de emergência sobre o projeto arquitetônico de edifícios altos: uma análise crítica e proposta de aprimoramento. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

210

Tabela 4 – Parâmetros utilizados nas simulações

Parâmetros/definições	Valores atribuídos	Referências
Velocidade horizontal (velocidade do indivíduo adulto em áreas planas)	1,2 a 1,5 m/s	Purser e McAllister (2016) e Tanaka (2002)
Velocidade vertical (velocidade máxima do indivíduo adulto nas escadas)	1,05 m/s	Gouveia (2002)
Velocidade de crianças (velocidade média de criança em áreas planas)	1,47 m/s	Ono, Valentin e Vittorino (2012)
Largura de ombros de adultos (diâmetro do cilindro que representa o indivíduo adulto)	44,7 a 48,8 cm	Bastos <i>et al.</i> (2014)
Largura de ombros de crianças (diâmetro do cilindro que representa a criança)	27 a 33 cm	NBR 15800 (ABNT, 2009)
Altura de adultos (altura do cilindro que representa o indivíduo adulto)	1,62 a 1,74 m	Bastos <i>et al.</i> (2014)
Altura de crianças (altura do cilindro que representa a criança)	1,17 a 1,50 m	NBR 15800 (ABNT, 2009)
Fator de redução (quanto o indivíduo consegue se comprimir em obstáculos)	0,7	Padrão do programa
Tempo de persistência (tempo que o indivíduo tentará resolver conflitos de movimentação no ambiente)	1 s	Padrão do programa
Tempo de resposta a colisão (multiplicado pela velocidade, determina a distância à frente que o indivíduo detecta possíveis colisões)	1,5 s	Padrão do programa
Distância de conforto (distância desejada entre os ocupantes)	0,08 m	Padrão do programa

211

Fonte: Elaborado pela autora.

## 212 2.5.2 Simulação

213 A contar do início da simulação computacional, conjecturou-se que todos os usuários  
214 da edificação tiveram a percepção do incêndio no tempo 0 s. Isso é possível mediante a  
215 existência de alarme e de treinamento dos usuários. Esta foi uma simplificação adotada na  
216 simulação, apesar de não ser um caso verdadeiramente realístico, visto que nem todos os  
217 usuários – mesmo na existência de alarme – terão a percepção do risco e a ação de evacuar o  
218 edifício.

## 219 2.6 Pontos de controle e análise

220 A análise de resultados foi realizada com base no tempo de evacuação e na dinâmica de  
 221 movimento. O modo de movimento adotado para as simulações foi o *Steering*, o qual forneceu  
 222 informações através de uma visualização 3D do modelo. A comparação entre os dois *layouts*  
 223 levou em conta, principalmente, o tempo total para a evacuação de toda a população e a  
 224 existência de pontos com densidade superior a 3 pessoas/m<sup>2</sup>, acima da qual há risco de  
 225 esmagamentos e pisoteamentos (HELHING; MUKERJI, 2012).

226 A Tabela 5 apresenta os pontos de análise de cada pavimento da edificação para o  
 227 desenvolvimento da análise de resultados.

228

Tabela 5 – Pontos utilizados na análise de resultados

Pavimento	Pontos de análise	
	L1	L2
Térreo	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fim da escada 1</li> <li>▪ Porta P1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fim da escada 1</li> <li>▪ Porta de saída da escada 2</li> <li>▪ Porta P1</li> <li>▪ Porta P2</li> <li>▪ Porta P3</li> <li>▪ Porta P4</li> <li>▪ Porta P5</li> </ul>
2º ao 10º	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Início da escada 1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Início da escada 1</li> <li>▪ Porta de acesso à antecâmara da escada 2</li> </ul>

229

Fonte: Elaborado pela autora.

## 230 2.7 Programa de computador

231 O *software* utilizado para a realização das simulações foi o *Pathfinder*, desenvolvido  
 232 pela empresa norte americana *Thunderhead Engineering*. Para as simulações no programa, é  
 233 possível personalizar as diferentes populações presentes na edificação, sendo definidos o perfil  
 234 e comportamento de cada uma. Essas características são a base da tomada de decisões de cada  
 235 pessoa a respeito de como ocorrerá sua saída. Além do citado, outros fatores são levados em  
 236 consideração para a definição do caminho a ser seguido pelos ocupantes, como tempo de fila  
 237 em cada porta, o tempo gasto para caminhar até cada porta, o tempo estimado de cada porta até  
 238 a saída e a distância percorrida. O *software* também permite estabelecer, para um grupo de  
 239 pessoas definido, uma saída específica ou que sigam até determinado local e esperem  
 240 (THUNDERHEAD ENGINEERING, 2020).

241 Ao rodar cada simulação, o programa fornece relatórios de resultados e permite a  
 242 visualização de fatores como densidade de ocupação e taxa de fluxo, contribuindo para a análise  
 243 de resultados.

## 244 3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

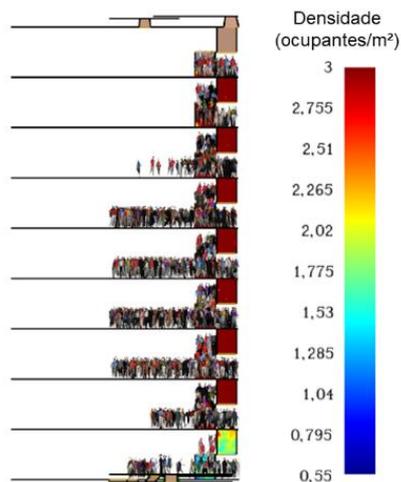
### 245 3.1 Modelo L1

246 Ao avaliar a dinâmica de evacuação do C1, notou-se que a escada 1 e as circulações dos  
 247 pavimentos em frente à mesma ficaram congestionadas, sendo liberadas à medida que os  
 248 pavimentos inferiores eram evacuados. Isso ocorreu devido ao elevado fluxo de pessoas

249 provenientes dos ambientes (ou seja, que adentram à escada) que superou a capacidade de vazão  
 250 da escada (ou seja, de pessoas que abandonam a escada no pavimento térreo). O tempo total de  
 251 evacuação no C1 foi de 15 min e 57 s. Apesar de terem tempos totais de evacuação distintos,  
 252 de 08 min e 12 s, 15 min e 59 s e 16 min e 07 s, para, respectivamente, os casos C2, C3 e C4, o  
 253 mesmo fenômeno de comportamento da população na escada foi observado. Percebe-se que no  
 254 C2, o tempo total de escape foi menor, o que se justifica pela menor população que estava  
 255 ocupando os pavimentos da torre. Logo, com a torre abaixo da sua capacidade máxima de uso,  
 256 os usuários conseguiram evacuar com mais fluidez. A redução de 50% da população total que  
 257 ocupa os andares elevados do edifício resultou na redução de 49,1% do tempo total de  
 258 evacuação em relação ao caso mais crítico (C4).

259 As Figuras 6a e 6b demonstram a densidade de pessoas por pavimento no tempo de 60  
 260 s, a contar do início da evacuação (isto é, instante no qual os usuários têm a percepção do  
 261 incêndio).

262 Figura 6a – Densidade de ocupantes na escada 1  
 263 aos 60s de evacuação no C1

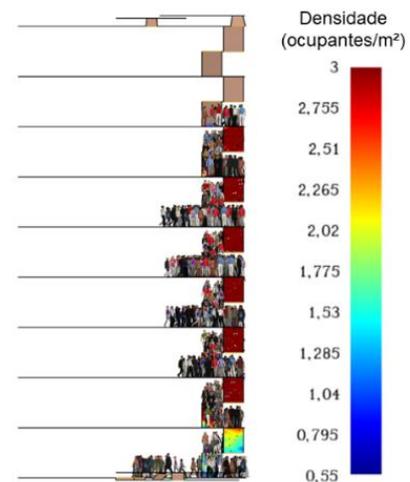


264

265 Fonte: Adaptado de *Pathfinder*.

266

267 Figura 6b – Densidade de ocupantes na escada 1  
 268 aos 60s de evacuação no C2



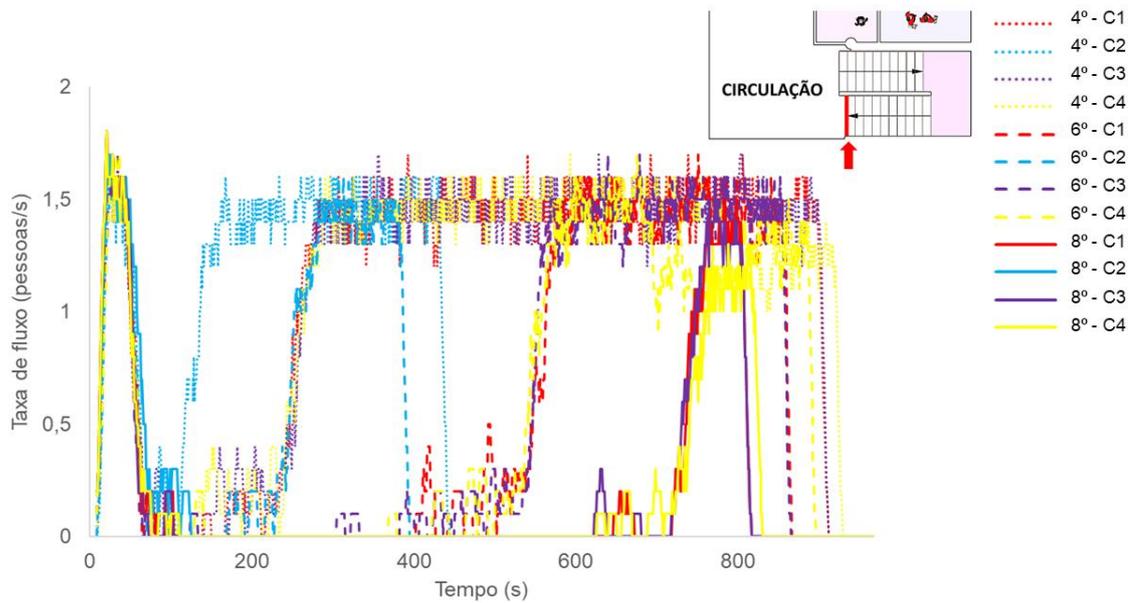
269

Fonte: Adaptado de *Pathfinder*.

270 O congestionamento das circulações e da escada 1 presenciado nos 4 cenários do L1  
 271 pode ser constatado pelo Gráfico 1, o qual apresenta a taxa de fluxo nos acessos à escada 1 do  
 272 4º, 6º e 8º pavimentos, conforme indicado pela seta vermelha na imagem. Durante certos  
 273 períodos de tempo, os ocupantes dos pavimentos superiores foram impedidos de se movimentar  
 274 em direção à saída devido à elevada densidade de pessoas dos pavimentos inferiores que  
 275 utilizavam toda a capacidade da escada em questão, como pode ser observado pela taxa de fluxo  
 276 zerada em alguns instantes.

277

Gráfico 1 – Taxa de fluxo nos acessos à escada 1 do 4º, 6º e 8º pavimentos



278

279

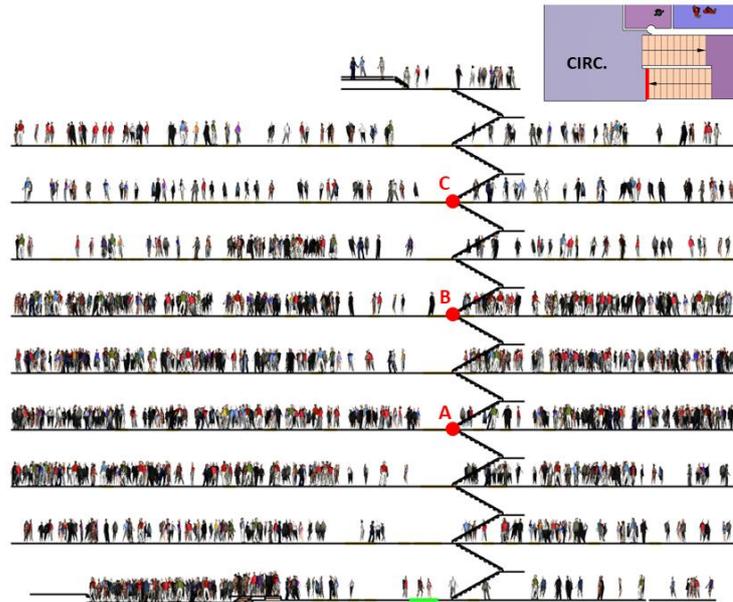
Fonte: Elaborado pela autora.

280 Considerando-se a não utilização do auditório (C3), a taxa de fluxo nos acessos à escada  
 281 1 foram semelhantes ao C1, já no C4 a inserção de um obstáculo alterou a dinâmica de  
 282 evacuação. A partir do momento em que a população localizada na circulação do 6º pavimento  
 283 conseguiu começar a se movimentar em direção à escada 1, foi possível observar a influência  
 284 do obstáculo, pois os ocupantes que se encontravam no seu entorno tiveram a saída dificultada  
 285 por ter que contorná-lo e devido à redução do vão de passagem provocada pelo mesmo, que  
 286 causou um afunilamento ainda maior quando comparado à largura da escada 1. Ademais,  
 287 quando comparado ao C1, onde a densidade populacional da escada se manteve estável em  
 288 torno de 2 pessoas/m<sup>2</sup>, notou-se que a presença do obstáculo no C4 reduziu a velocidade das  
 289 pessoas localizadas nos lanços acima do 6º pavimento, visto que a densidade populacional  
 290 nestes locais se manteve elevada, em torno de 3 pessoas/m<sup>2</sup>, enquanto nos lanços abaixo foi  
 291 levemente reduzida para em torno de 1,5 pessoas/m<sup>2</sup>.

292 Tal fato pode ser observado pela Tabela 6, a qual mostra o total de pessoas que acessou  
 293 a escada no 4º, 6º e 8º pavimentos (pontos A, B e C, respectivamente, conforme referência  
 294 mostrada na Figura 7) e seu percentual em relação ao total que passou pelo ponto em questão  
 295 até o fim da evacuação. Percebeu-se que a quantidade de pessoas que passou pelos pontos B e  
 296 C até os 800 s foi menor no C4 quando comparado ao C1, enquanto no ponto A isso não  
 297 aconteceu, visto que o ponto A se localiza após a obstrução. Além disso, até os 600 s, o número  
 298 de ocupantes que passou por esses pontos foi semelhante entre C1 e C4, o que se deve ao fato  
 299 de a evacuação do 6º pavimento ter iniciado em torno dos 700 s.

300

Figura 7 – Pontos A, B e C em corte e planta baixa



301

302

Fonte: Adaptado de *Pathfinder*.

303

Tabela 6 – Total de pessoas que passaram pelos pontos A, B e C ao longo do tempo

Cenário	Tempo (s)	Total de pessoas que passaram por ponto			Percentual de pessoas que passaram por ponto (%)		
		A	B	C	A	B	C
C1	200	71	64	70	6,9	12,1	41,4
	400	296	64	70	28,7	12,1	41,4
	600	588	158	70	56,9	29,8	41,4
	800	885	451	161	85,7	84,9	95,3
	1000	1033	531	169	100	100	100
C4	200	77	66	69	7,5	12,4	40,8
	400	298	67	69	28,8	12,6	40,8
	600	594	162	69	57,5	30,5	40,8
	800	886	419	147	85,8	78,9	87
	1000	1033	531	169	100	100	100

304

305

Fonte: Elaborado pela autora.

306

307

308

309

Estes resultados mostraram como saídas inadequadas podem afetar a segurança dos ocupantes de uma edificação, sendo que, ao se considerar os possíveis efeitos oriundos dessa situação, no caso do C4 simulando um indivíduo que perdeu a consciência, as conclusões podem se agravar.

310

311

312

313

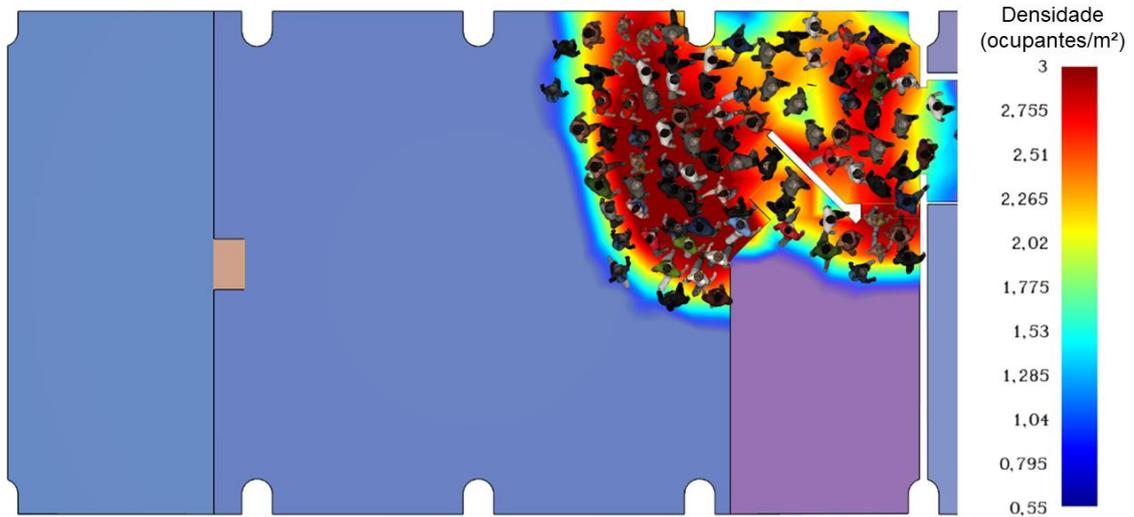
314

315

No auditório, a dinâmica de evacuação foi semelhante nos 3 cenários que consideraram o ambiente com 100% de lotação, tendo sido totalmente desocupado em aproximadamente 65 s. Como pode ser verificado na Figura 8, houveram aglomerações com densidade de 3 pessoas/m<sup>2</sup> no entorno da única saída existente, o que ocorreu devido ao afunilamento provocado pela porta, mas também pelo *layout* do auditório que conta com diferentes níveis na região próxima à saída. O encontro entre estes níveis é delimitado por uma mureta, representada

316 em branco na imagem abaixo, que se tornou um obstáculo no processo de abandono do local,  
 317 contribuindo assim para a formação da aglomeração.

318 Figura 8 – Auditório aos 21 s de evacuação no C1



319  
 320

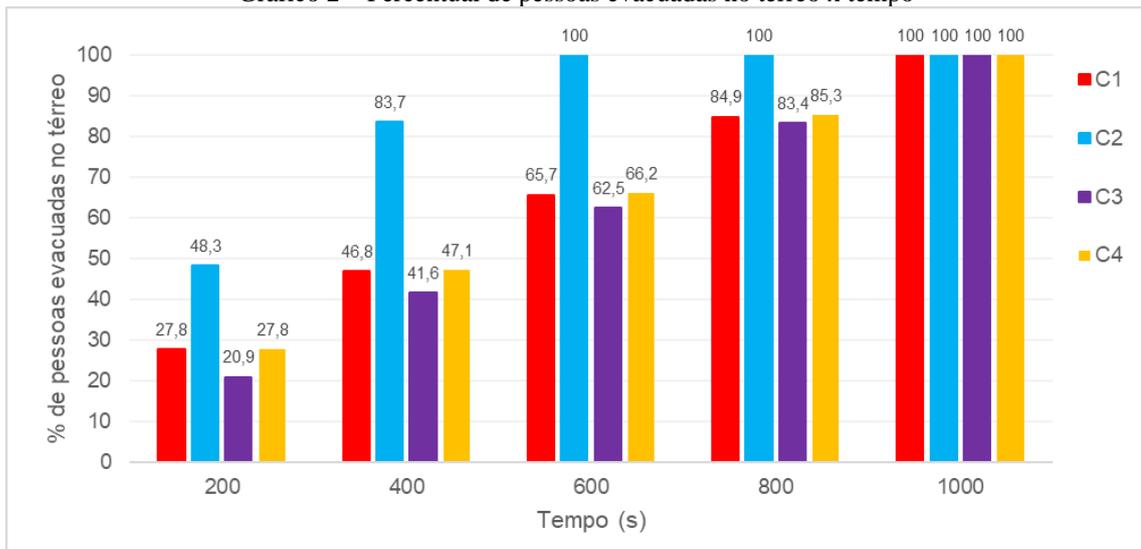
Fonte: Pathfinder.

321 Ao correlacionar a quantidade de pessoas evacuadas por tempo nos 04 cenários do L1,  
 322 foi observado que a evacuação ocorreu um pouco mais rapidamente no C4 do que no C1 devido  
 323 ao aumento de velocidade dos ocupantes após o obstáculo, o qual foi provocado pela redução  
 324 da densidade populacional na escada após este ponto, conforme supracitado. Isso evidencia o  
 325 quão fundamental é o fato de os ocupantes não evacuarem todos ao mesmo tempo. Se todos  
 326 evacuarem ao mesmo tempo, o acúmulo de pessoas provoca uma barreira natural que reduz a  
 327 velocidade dos usuários e, assim, o tempo total de evacuação. Como agravante, se todos os  
 328 usuários abandonam (ou se dirigem para a escada de emergência) ao mesmo tempo, o acúmulo  
 329 de pessoas pode gerar danos como esmagamento, asfixia, além de aumentar o comportamento  
 330 de pânico de alguns indivíduos, fenômeno complexo de ser simulado computacionalmente.

331 Entretanto, comparado ao C1, houve um acréscimo de 10 s no tempo total de evacuação  
 332 do C4 em decorrência da redução de velocidade dos ocupantes acima do 6º pavimento,  
 333 resultando em um total de 16 min e 07 s. Trata-se de uma diferença quase negligenciável.  
 334 Ademais, notou-se que, apesar dos tempos de evacuação terem sido semelhantes entre o C1 e  
 335 o C3 (2 s de diferença), a edificação foi capaz de evacuar mais rapidamente seus ocupantes  
 336 quando o auditório estava sendo utilizado, conforme apresentado no Gráfico 2, indicando que  
 337 a saída existente comportou a população do auditório juntamente com a do restante da torre. Já  
 338 o C2 teve um tempo total de evacuação de 8 min e 12 s, uma redução de 49% em relação ao  
 339 C1, condizente com a redução de população da edificação.

340

Gráfico 2 – Percentual de pessoas evacuadas no térreo x tempo



341  
342

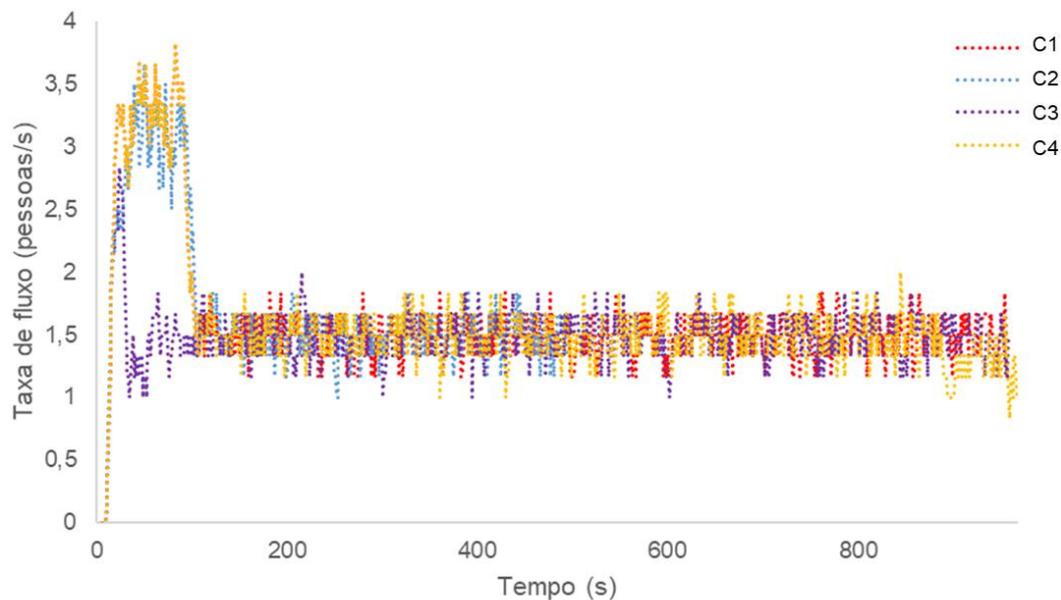
Fonte: Elaborado pela autora.

343 Na porta P1, percebeu-se uma maior concentração populacional entre 45 e 90 s  
 344 aproximadamente nos cenários que contavam com o auditório ocupado. Isso ocorreu devido à  
 345 elevada quantidade de pessoas que utilizava a saída em questão, provenientes principalmente  
 346 do auditório e dos pavimentos superiores. O aumento da densidade populacional se deu a partir  
 347 do momento em que o fluxo de pessoas provenientes dos pavimentos superiores aumentou e  
 348 ainda haviam ocupantes do térreo realizando o abandono do local, resultando em aglomeração.

349 Conforme pode ser observado no Gráfico 3, após a população do pavimento térreo ter  
 350 evacuado, o fluxo de pessoas que passou pela porta P1 reduziu de 3,40 pessoas/s em média para  
 351 1,5 pessoas/s nos cenários com o auditório ocupado, não tendo sido mais utilizada em toda sua  
 352 capacidade a partir do momento em que todos os indivíduos eram provenientes da escada 1.

353

Gráfico 3 – Taxa de fluxo x tempo na porta P1



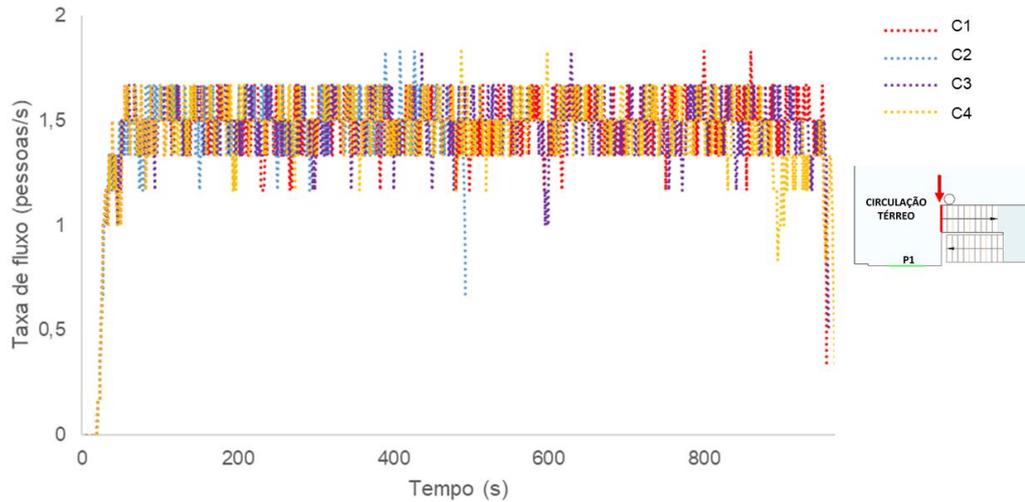
354  
355

Fonte: Elaborado pela autora.

356 Complementarmente, tendo em vista que a taxa de fluxo no fim da escada 1 se manteve  
 357 constante nos momentos iniciais das 04 simulações com o L1, conforme indicado no Gráfico

358 4, concluiu-se que as aglomerações presenciadas no entorno da porta P1 não afetaram o fluxo  
 359 da escada, indicando que uma eventual ampliação na largura da porta possivelmente não  
 360 implicaria em menor tempo total de evacuação, já que este tempo é decorrente principalmente  
 361 da população que utiliza a escada 1.

362 Gráfico 4 – Taxa de fluxo x tempo no fim da escada 1



363  
 364

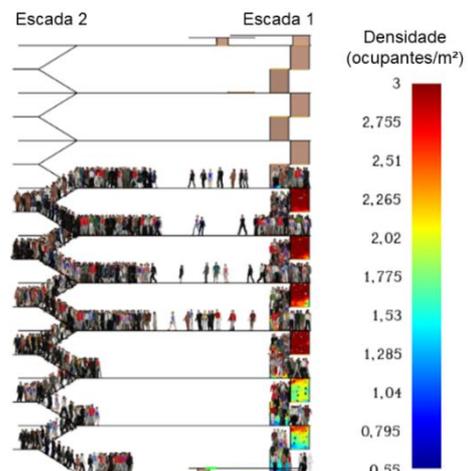
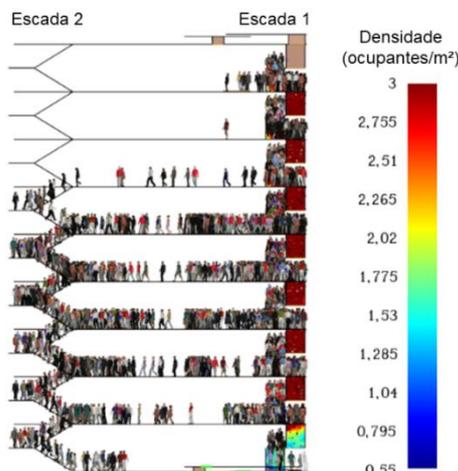
Fonte: Elaborado pela autora.

365 **3.2 Modelo L2**

366 Em todos os cenários simulados com o L2 foram constatadas aglomerações nas escadas  
 367 1 e 2, levando um total de 8 min e 56 s, 8 min e 58 s, 4 min e 32 s e 8 min para evacuação do  
 368 edifício nos cenários C5, C6, C7 e C8, respectivamente. Como pode ser observado abaixo nas  
 369 Figuras 9a e 9b, onde a situação é exemplificada com o C5, a escada 1 ficou congestionada  
 370 primeiro devido à sua menor largura, que fez com que comportasse uma menor taxa de fluxo.  
 371 Na sequência, observou-se que alguns ocupantes que se encontravam na escada 1 optaram por  
 372 se dirigir à escada 2, visto que a evacuação acontecia mais rapidamente nela. Isso correu por  
 373 conta de ter sido utilizado o modo *Steering* de simulação, onde os ocupantes interagem com o  
 374 meio e escolhem o caminho mais favorável a ser seguido.

375 Figura 9a – Densidade populacional nas escadas  
 376 aos 60 s de evacuação do C5

380 Figura 9b – Densidade populacional nas escadas  
 381 aos 150 s de evacuação do C5



377

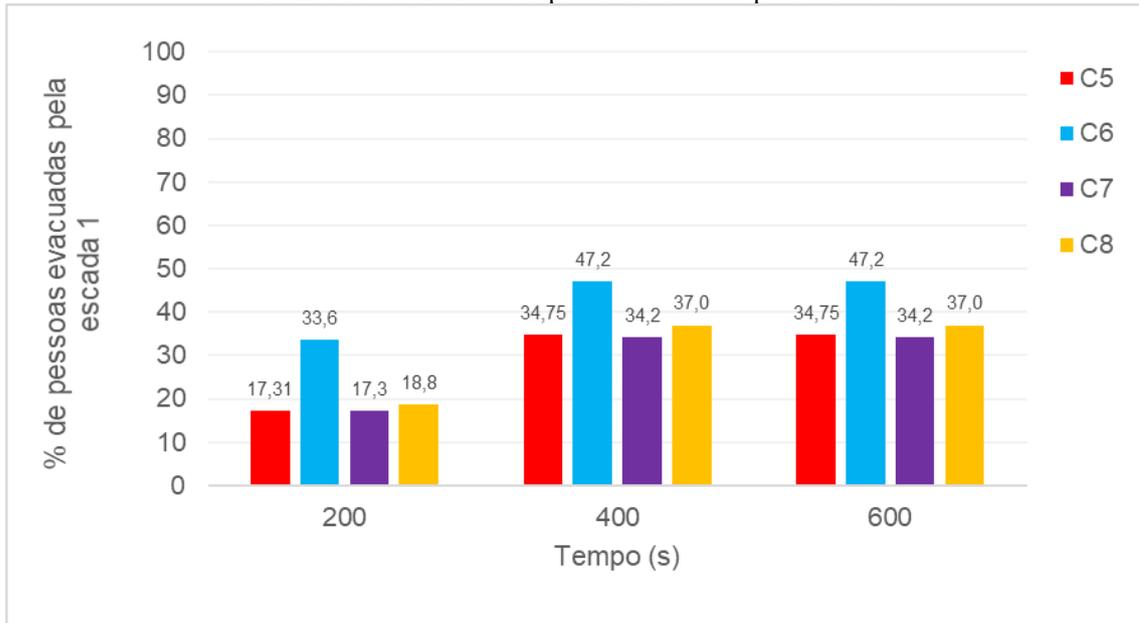
378 Fonte: Adaptado de *Pathfinder*.  
 379

382 Fonte: Adaptado de *Pathfinder*.

383 Ao analisar a evacuação em cada pavimento, observou-se que houve uma preferência  
 384 pela escada 1, provavelmente por conta das menores distâncias a serem percorridas através da  
 385 mesma até a saída, o que também influenciou para que sua densidade populacional se elevasse  
 386 rapidamente. Entretanto, nos cenários 5, 7 e 8, devido à grande quantidade de ocupantes que  
 387 trocaram sua rota de fuga, a escada 2 acabou sendo a mais utilizada, conforme apresentado nos  
 388 Gráficos 5a e 5b. Já no C6, notou-se que a população teve uma distribuição mais equilibrada  
 389 entre as escadas, o que ocorreu devido às menores aglomerações na escada 1, que fez com que  
 390 menor número de ocupantes trocassem de rota.

391

Gráfico 5a – Percentual de pessoas evacuadas pela escada 1

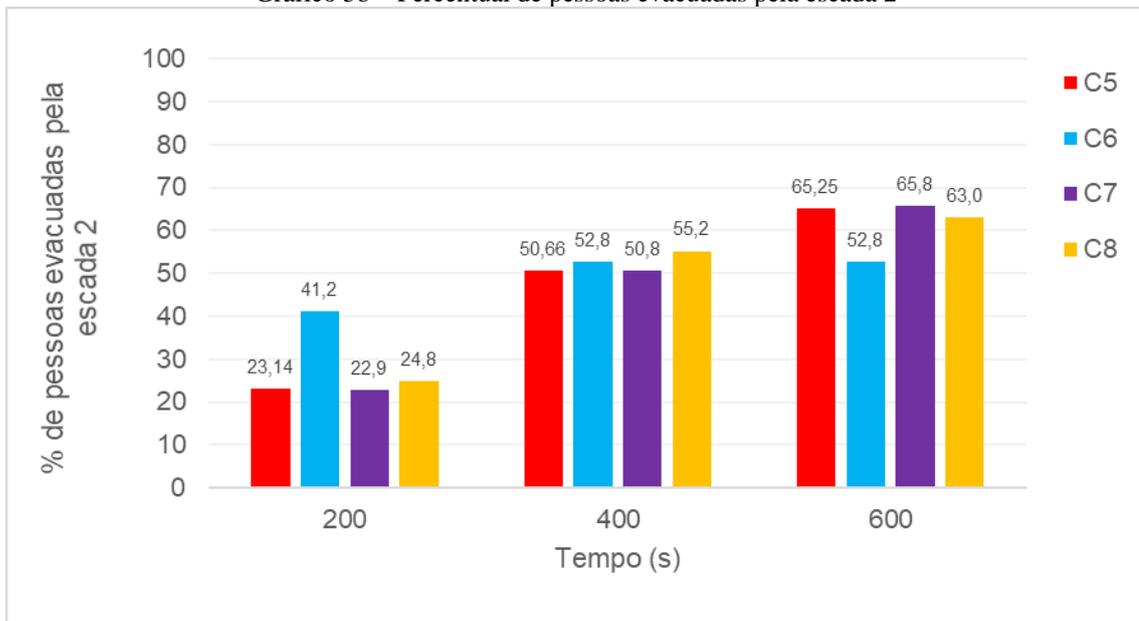


392  
393

Fonte: Elaborado pela autora.

394

Gráfico 5b – Percentual de pessoas evacuadas pela escada 2



395

Fonte: Elaborado pela autora.

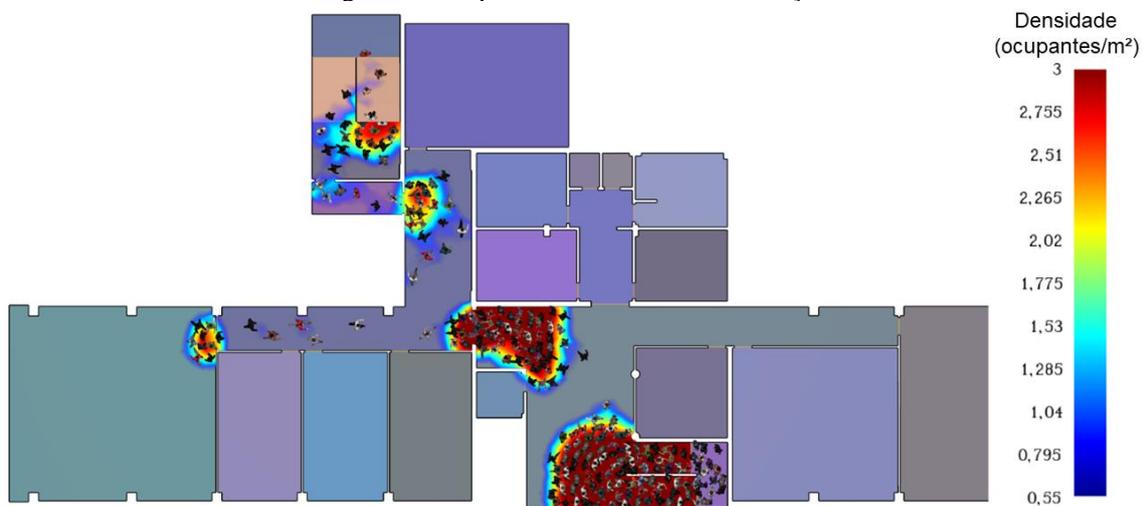
396 Ademais, notou-se que a possibilidade de escolha entre duas rotas de fuga ocasionou  
 397 conflitos no 3º, 4º e 6º pavimentos dos cenários 5, 7 e 8, conforme pode ser observado na Figura

398 10, exemplificado pelo C5, onde um acesso comum às duas rotas possuía dois fluxos de  
 399 movimento. Não se sabe como foram definidas as rotas de fuga no PPCI, logo, a população do  
 400 prédio não foi destinada a nenhuma escada ou porta específica, permitindo que os ocupantes  
 401 escolhessem a saída mais favorável para si no momento e, portanto, ocasionando as colisões  
 402 mencionadas.

403 Além do grande número de pessoas nesses pavimentos, os conflitos de movimentação  
 404 ainda foram acentuados pela redução do vão de passagem presente neste ponto dos pavimentos  
 405 em questão. No 6º pavimento, apesar de ser o de maior população, o vão era menor que o dos  
 406 outros pavimentos (1,73 m), tornando as aglomerações mais críticas, o que não ocorreu no 5º  
 407 pavimento apesar de ser um dos mais populosos, visto que possuía um maior vão de passagem  
 408 (2,03 m). No C6, esta situação não foi observada em decorrência da população reduzida na  
 409 torre.

410

Figura 10 – 6º pavimento aos 70s de evacuação do C5

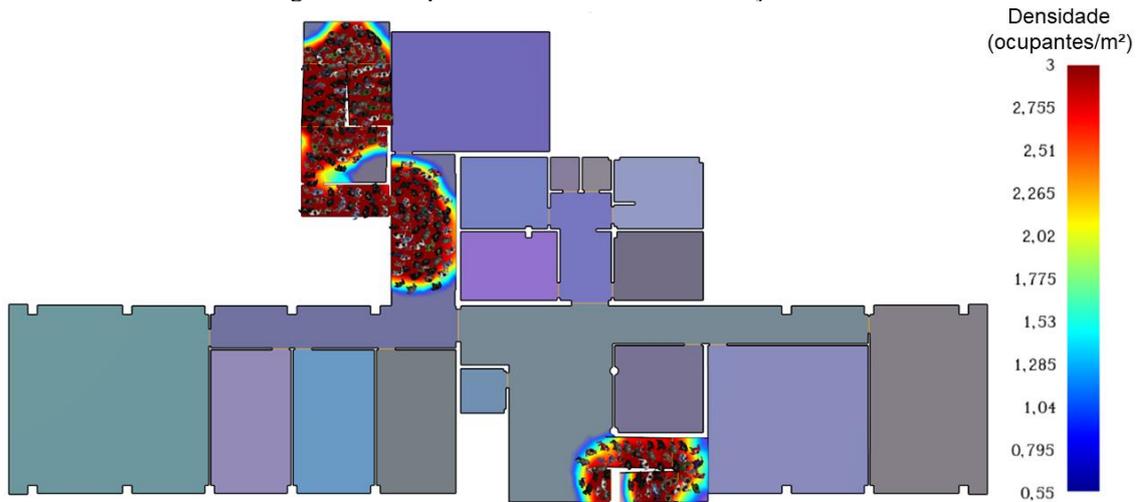
411  
412

Fonte: Pathfinder.

413 A porta de acesso à escada 2 também foi ponto aglomeração entre o 4º e o 7º pavimento  
 414 no C5 e no C7, conforme apresentado na Figura 11, o que se deve tanto à redução de largura da  
 415 porta em relação à circulação quanto à alta densidade de pessoas no interior da escada, que  
 416 dificultava a entrada dos demais. O mesmo ocorreu no C8, porém sem aglomerações no 4º  
 417 pavimento, possivelmente em decorrência da menor população no 2º e no 3º quando comparado  
 418 ao C5 e C7, que possibilitou a entrada dos ocupantes na escada 2 com maior facilidade. Os  
 419 ocupantes do C6 tiveram o acesso à escada 2 mais facilmente devido à menor lotação. Assim  
 420 como ocorreu nas demais simulações, as aglomerações se dissiparam à medida que os  
 421 pavimentos inferiores eram evacuados e liberavam passagem aos superiores.

422

Figura 11 – 6º pavimento aos 210s de evacuação do C5



423  
424

Fonte: Pathfinder.

425

No pavimento térreo foi observada uma alta densidade de pessoas na porta de saída da escada 2, a qual se iniciou após os 100 s e se intensificou até o fim da evacuação. Isso ocorreu devido à redução do vão de passagem, de 2,24 m na escada para 1,60 m na porta e foi observado em todos os cenários do L2, inclusive no de menor população. Tal fato indica a possibilidade de a largura da porta ter sido dimensionada de forma incompatível com a largura da escada. As Figuras 12a e 12b exemplificam o ocorrido no C5.

426

427

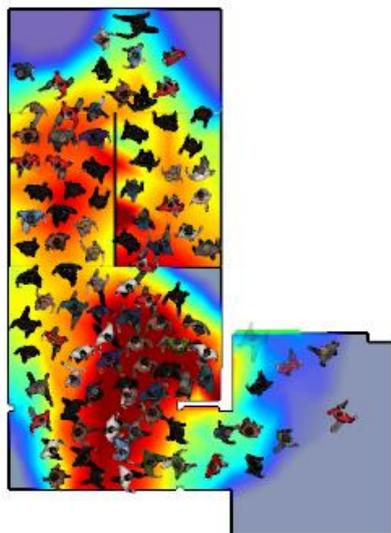
428

429

430

431 Figura 12a – Saída da escada 2 no pavimento térreo  
432 aos 400 s de evacuação do C5

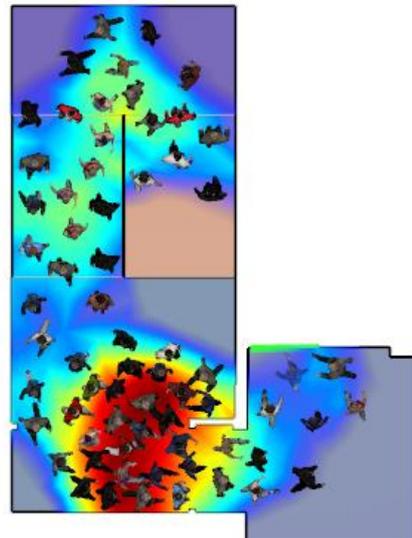
436 Figura 12b13 – Saída da escada 2 no pavimento  
437 térreo aos 230 s de evacuação do C6



Fonte: Pathfinder.

433  
434  
435

438



Fonte: Pathfinder.

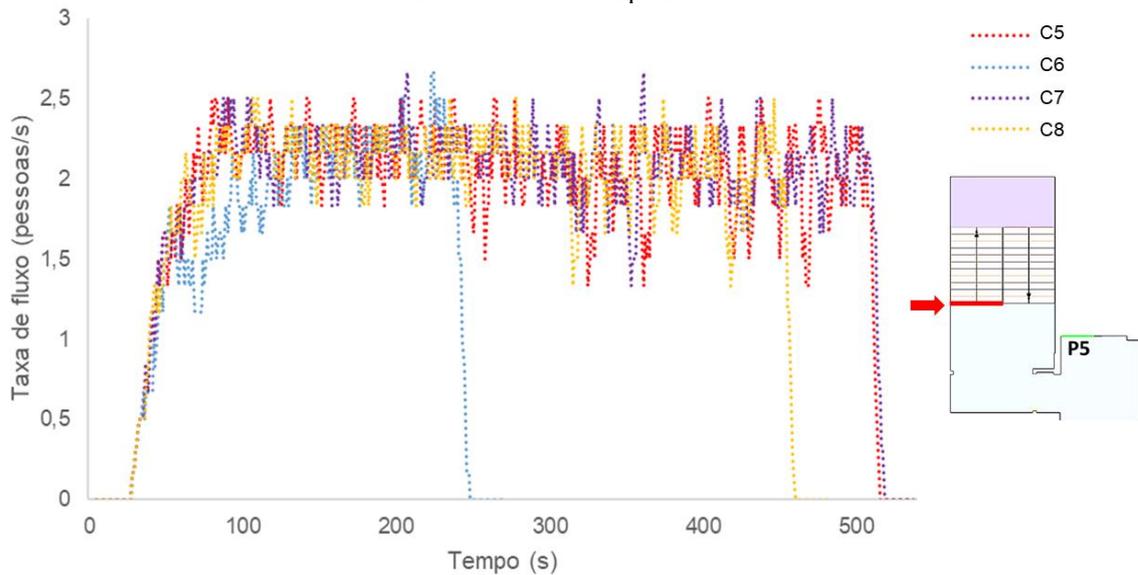
439

440

A aglomeração no entorno da porta da escada 2 provocou a redução da taxa de fluxo na escada, desacelerando o processo de saída, conforme pode ser observado no Gráfico 6.

441

Gráfico 6 – Taxa de fluxo x tempo no fim da escada 2



442

443

Fonte: Elaborado pela autora.

444

No auditório, foram verificadas aglomerações na porta de saída para o interior da edificação e nos acessos ao palco, bem como no entorno da porta P4, no entanto, a execução da nova porta para a área externa contribuiu para a distribuição da população no momento da evacuação, evitando, assim, que essas aglomerações tomassem proporções semelhantes ao observado no L1. O local foi evacuado em 43 s no C5 e C6, enquanto no C8 este tempo aumentou para 53 s por conta da maior população calculada no modelo anterior. A influência desse aumento de 10 s pode ser observada brevemente na P5, onde a concentração de pessoas no seu entorno foi maior nos momentos seguintes a esse intervalo, em torno de 2 pessoas/m<sup>2</sup>, visto que quando o fluxo de pessoas provenientes da escada aumentou, ainda haviam ocupantes do auditório evacuando. Já nos cenários 5, 6 e 7, a porta P5 comportou sua população sem ocasionar densidades superiores a 1,5 pessoas/m<sup>2</sup>.

445

Na porta P1 não foram constatadas aglomerações em nenhum dos cenários do L2, mostrando que sua largura foi suficiente para evacuação da edificação quando em conjunto com as outras saídas dimensionadas. A porta P3, por estar afastada das escadas, acabou por não ter sido uma escolha favorável para os ocupantes dos pavimentos superiores e foi utilizada somente pela população do seu ambiente, logo, não apresentou complicações nas simulações, bem como a porta P2, visto a baixa população do diretório acadêmico.

446

### 3.3 Correlação entre resultados

447

Em todas as simulações realizadas, notou-se que os pavimentos inferiores foram os primeiros a serem evacuados, liberando passagem para os superiores na sequência. A Tabela 7 apresenta os tempos totais de evacuação obtidos.

448

449

Tabela 7 – Tempo de evacuação por cenário simulado

Cenário	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Tempo total de evacuação (s)	957	492	959	967	536	272	538	480

450

Fonte: Elaborado pela autora.

451

Através das simulações realizadas com o L1 (C1, C2, C3 e C4), percebeu-se que a escada de emergência existente atualmente ficou congestionada durante a evacuação da

452

469 edificação, mesmo no caso de 50% de lotação da torre. Esse acúmulo de pessoas pode aumentar  
 470 os riscos de lesões à saúde, dependendo do comportamento dos ocupantes e da dinâmica do  
 471 incêndio.

472 As simulações conduzidas a partir do L2 da edificação (C5, C6, C7 e C8) mostraram  
 473 que os ajustes dimensionados no PPCI contribuíram para redução do tempo total de evacuação  
 474 em até 49,8%, o que, somado à execução de uma escada enclausurada, diminuiu  
 475 consideravelmente o tempo de exposição dos ocupantes aos perigos oriundos de fogo e fumaça.  
 476 Vale destacar que, mesmo considerando o aumento de população decorrente das alterações de  
 477 *layout*, houve redução de até 44,7% no tempo total de evacuação entre cenários com mesma  
 478 porcentagem de ocupação. Entretanto, a possibilidade de escolha entre duas rotas de fuga  
 479 ocasionou atrito entre pessoas que se direcionavam a escadas diferentes, visto compartilharem  
 480 a mesma circulação. Tal fenômeno salienta a importância da sinalização de emergência e  
 481 treinamento das pessoas para que a evacuação aconteça de maneira mais ordenada.

482 Ademais, notou-se a ocorrência de aglomerações em locais onde seria favorável o  
 483 aumento do vão de passagem para melhor acomodar a população, como na porta de saída da  
 484 escada 2 no térreo e nas circulações do 3º, 4º e 6º pavimento.

485 Embora o auditório não tenha causado grandes impactos na evacuação do prédio como  
 486 um todo, as alterações de *layout* propostas foram positivas para o ambiente. Houve uma redução  
 487 de 18,5% no tempo de abandono do ambiente no L2 quando mantida a mesma população do  
 488 L1. Além disso, a execução de nova saída de emergência distribuiu a população que antes se  
 489 concentrava em apenas uma porta, contribuindo, assim, para redução das aglomerações.

#### 490 **4. CONCLUSÕES**

491 As principais conclusões obtidas com este estudo são destacadas a seguir:

- 492 • A execução de escada e saídas adicionais, visando atender a regulamentação de  
 493 segurança ao incêndio vigente, reduziu em 49,8% o tempo total de evacuação da  
 494 edificação (mantida a mesma população);
- 495 • A execução de nova saída no auditório reduziu em 18,5% o tempo total de evacuação  
 496 do local (mantida a mesma população do auditório);
- 497 • A existência de mais de uma escada de emergência provocou colisões entre ocupantes  
 498 que seguiam por caminhos opostos. Esse fenômeno pode ser reduzido mediante a  
 499 implantação de sinalização de orientação adequada;
- 500 • As aglomerações no L2 (edificação conforme os ajustes necessários exigidos pela  
 501 legislação vigente) foram menores, com a população se dissipando mais rapidamente.  
 502 Esta circunstância contribui, por exemplo, para o aumento da velocidade de fuga,  
 503 redução da possibilidade de esmagamento, sufocamento e pânico dos usuários;
- 504 • Afunilamentos em pavimentos populosos provocaram altas concentrações de pessoas  
 505 em seu entorno, criando uma barreira natural que afetava negativamente no abandono  
 506 dos usuários;

#### 507 **5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

508 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15800**: Vestuário  
 509 – Referenciais de medidas do corpo humano – Vestibilidade para bebês, crianças e  
 510 adolescentes. Rio de Janeiro, 2009.

511 BASTOS, S. F. et al. **Size BR - O estudo Antropométrico Brasileiro**. Senai CETIQT. Rio de  
 512 Janeiro, 2014.

- 513 CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO RIO GRANDE DO SUL. **Resolução Técnica**  
514 **CBMRS n° 11 – Parte 01/2016**: Saídas de Emergência. Porto Alegre, 2016.
- 515 DUARTE, Rogério Bernardes; ONO, Rosaria; SILVA, Silvio Bento da. **Problemática de**  
516 **incêndio em edifícios altos**. São Paulo. Ed. do Autor, 2021.
- 517 FRIBERG, Markus; HJELM, Michael. Mass evacuation-human behavior and crowd dynamics-  
518 What do we know? **LUTVDG/TVBB**, 2014.
- 519 GOUVEIA, Antônio Maria Claret de; ETRUSCO, Paula. Tempo de escape em edificações: os  
520 desafios do modelamento de incêndio no Brasil. **REM: Revista Escola de Minas**, v. 55, p.  
521 257-261, 2002.
- 522 HELBING, Dirk; MUKERJI, Pratik. Crowd disasters as systemic failures: analysis of the Love  
523 Parade disaster. **EPJ Data Science**, v. 1, p. 1-40, 2012.
- 524 KHAMIS, Nurulaqilla et al. Optimized exit door locations for a safer emergency evacuation  
525 using crowd evacuation model and artificial bee colony optimization. **Chaos, Solitons &**  
526 **Fractals**, v. 131, p. 109505, 2020.
- 527 KODUR, V. K. R.; VENKATACHARI, S.; NASER, M. Z. Egress parameters influencing  
528 emergency evacuation in high-rise buildings. **Fire technology**, v. 56, p. 2035-2057, 2020.
- 529 KULIGOWSKI, E. D. Human Behavior in Fire. *In*: HURLEY, M. J. **SFPE Handbook of Fire**  
530 **Protection Engineering**. 5. ed. Nova York: Springer, 2016. cap. 58, p. 2070-2114.
- 531 LEI, Wenjun; TAI, Chuanmin. Effect of different staircase and exit layouts on occupant  
532 evacuation. **Safety science**, v. 118, p. 258-263, 2019.
- 533 MONTENEGRO, Mariana Lima Oliveira. **Análise de desempenho das saídas de emergência**  
534 **por meio de simulações computacionais**: o caso de projetos de edifícios universitários. 2016.  
535 Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil, 2016.
- 536 ONO, Rosaria. **O impacto do método de dimensionamento das saídas de emergência sobre**  
537 **o projeto arquitetônico de edifícios altos**: uma análise crítica e proposta de aprimoramento.  
538 Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- 539 ONO, R.; VALENTIN, M.; VITTORINO, F. **Walking speed data of fire drills at an**  
540 **elementary school**. *In*: **Proceedings of 5th International Symposium: Human Behaviour**  
541 **in Fire**. 2012.
- 542 PURSER, David. A.; MCALLISTER, Jamie. L. Assessment of Hazards to Occupants from  
543 Smoke, Toxic Gases, and Heat. *In*: HURLEY, M. J. **SFPE Handbook of Fire Protection**  
544 **Engineering**. 5. ed. Nova York: Springer, 2016. cap. 63, p. 2308-2428.
- 545 RIO GRANDE DO SUL. **Decreto n° 51.803, de 10 de setembro de 2014**. Regulamenta a Lei  
546 Complementar n.º 14.376, de 26 de dezembro de 2013, e alterações, que estabelece normas  
547 sobre segurança, prevenção e proteção contra incêndio nas edificações e áreas de risco de  
548 incêndio no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, Disponível em:  
549 <<https://www.bombeiros.rs.gov.br/decretos>>. Acesso em: 24 mai. 2023.

- 550 RUTTY, Guy N.; CARY, Nathaniel; LAWLER, William. Death in crowds. **Essentials of**  
551 **Autopsy Practice: Reviews, Updates, and Advances**, p. 43-57, 2017.
- 552 THUNDERHEAD ENGINEERING. **Pathfinder User Manual**. Manhattan, 2020.
- 553 UFRGS. **Faculdade de Educação celebra 50 anos**, 28 ago. 2020. Disponível em:  
554 <https://www.ufrgs.br/faced/faculdade-de-educacao-celebra-50-anos/>. Acesso em: 29 jun. 2023.