

## **SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO INCÊNDIO DA BOATE KISS: IMPACTO DA LARGURA DAS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA NA SEGURANÇA DA EVACUAÇÃO**

*Henrique Costa Braga<sup>1</sup>*

<https://orcid.org/0000-0001-9504-6156>

*Gray Farias Moita<sup>2</sup>*

<https://orcid.org/0000-0002-6510-1019>

### **RESUMO**

Grandes desastres relacionados a incêndios evidenciam o papel decisivo do dimensionamento das rotas de evacuação. O incêndio da Boate Kiss (Santa Maria, Brasil, 2013), que resultou em 242 mortes, demonstra como gargalos e capacidade insuficiente de saída podem comprometer criticamente os desfechos. Este estudo aplica modelagem computacional de evacuação utilizando o programa Fuga v.2.0 para simular cenários da casa noturna, testando configurações simplificadas e diferentes larguras de saída. Foi considerada uma população simulada de 1.000 agentes com perfis antropométricos discretizados e posições iniciais aleatórias. Os resultados indicam que mesmo a conformidade com a largura mínima de saída de 4,4 m prescrita pela ABNT NBR 9077:1993 não teria garantido evacuação segura nas condições da tragédia. As simulações indicam que seria necessária uma largura mínima da ordem de 8,8 m para que o Tempo Necessário para Evacuação Segura (*RSET*) se aproximasse do Tempo Disponível para Evacuação Segura (*ASET*), estimado entre 1 e 2 minutos devido à rápida formação de fumaça. Além disso, barreiras internas reduziram a largura efetiva para cerca de 1,65 m, produzindo valores de *RSET* até cinco vezes superiores ao *ASET*. Esses resultados destacam a relevância da avaliação baseada em desempenho e da modelagem computacional como ferramentas complementares para a análise da segurança de evacuação em configurações complexas de edificações.

**Palavras-chave:** Evacuação em incêndios; Saídas de emergência; Simulação computacional; Incêndio da Boate Kiss; ABNT NBR 9077.

---

<sup>1</sup>Engenheiro de Segurança do Trabalho, Doutor em Modelagem Matemática e Computacional. Professor Visitante, Departamento de Engenharia de Transportes. CEFET-MG (Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais), Brasil. E-mail: [henriquebraga@cefetmg.br](mailto:henriquebraga@cefetmg.br)

<sup>2</sup>Engenheiro Civil, Ph.D. Professor Titular, Departamento de Engenharia Civil & Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional CEFET-MG (Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais), Brasil. E-mail: [gray@cefetmg.br](mailto:gray@cefetmg.br)

## **COMPUTATIONAL SIMULATION OF THE KISS NIGHTCLUB FIRE: IMPACT OF EMERGENCY EXIT WIDTH ON EVACUATION SAFETY**

### **ABSTRACT**

Major fire disasters highlight the decisive role of evacuation route design. The Kiss Nightclub fire (Santa Maria, Brazil, 2013), which resulted in 242 deaths, demonstrates how bottlenecks and insufficient exit capacity can critically affect outcomes. This study applies computational evacuation modeling using the Fuga v.2.0 program to simulate parametric evacuation scenarios of the nightclub, testing simplified layouts and different exit widths. A simulated population of 1,000 agents was considered, incorporating discretized anthropometric body sizes, random initial positions, and realistic movement parameters. Results indicate that even compliance with the 4.4 m minimum exit width prescribed by ABNT NBR 9077:1993 would not have ensured safe evacuation under the conditions of the tragedy. Simulations show that an exit width on the order of 8.8 m would have been required for the Required Safe Egress Time (*RSET*) to approach the Available Safe Egress Time (*ASET*), estimated between 1 and 2 minutes due to rapid smoke development. Furthermore, internal barriers reduced the effective width to approximately 1.65 m, producing *RSET* values up to five times greater than the reference *ASET*. These findings highlight the relevance of performance-based assessment and computational evacuation modeling as complementary tools for evaluating evacuation safety in complex building configurations.

**Keywords:** Fire evacuation; Emergency exits; Computational simulation; KissNightclub fire; ABNT NBR 9077.

**Artigo Recebido em 30/09/2025**

**Aceito em 08/04/2026**

**Publicado em 29/05/2026**

## **1- INTRODUÇÃO**

Grandes desastres relacionados a incêndios frequentemente resultam da convergência de múltiplos fatores adversos, muitos deles subestimados pelos responsáveis pelo ambiente construído. Por diversas razões, incluindo questões de probabilidade estatística, tais fatores podem se alinhar e desencadear incêndios de grande magnitude e tragédias severas, com perdas materiais e humanas que frequentemente surpreendem tanto os tomadores de decisão que minimizaram sua possibilidade quanto a sociedade como um todo.

Embora cada grande incêndio possua características particulares, também é possível identificar padrões recorrentes. Entre os mais críticos está o projeto e a adequação das condições de evacuação, em especial a provisão de rotas de fuga e saídas de emergência. Esse aspecto desempenha papel decisivo na concepção, no planejamento e na aprovação de edificações seguras.

Em consequência disso, e reforçados pelas lições aprendidas em desastres anteriores, códigos de edificações e regulamentações de segurança contra incêndio têm estabelecido, ao longo de décadas, parâmetros para o adequado dimensionamento das rotas de fuga e das saídas de emergência. Essas diretrizes consideram fatores essenciais como o tipo de ocupação, o número de ocupantes, a área construída e a altura da edificação.

O incêndio da Boate Kiss (Santa Maria – RS, Brasil, 2013) constitui um caso trágico e emblemático que ilustra a importância de condições adequadas de evacuação. O evento foi documentado tanto em investigações técnicas quanto em reconstruções sociais ou jornalísticas detalhadas (por exemplo, Arbex, 2018; McCann, Victora, 2023), que retratam as dimensões humanas e sociais da tragédia. Diversos fatores contribuíram para a magnitude catastrófica

do episódio, que resultou em 242 mortes (Braga; Moita, 2017; Machado; Bem, 2025), mas a dificuldade de evacuação teve papel decisivo em seu desfecho.

Este estudo tem como objetivo demonstrar, por meio de modelagem computacional da evacuação, como a largura das saídas de emergência influencia o tempo de evacuação, considerando a configuração real da Boate Kiss nas proximidades de sua saída principal, bem como estimar a largura mínima necessária para evitar uma tragédia de tal magnitude. Como contribuição, espera-se que os resultados forneçam subsídios relevantes para o avanço das discussões sobre o tema e apoiem melhorias nas regulamentações brasileiras relativas às saídas de emergência, promovendo projetos e planejamentos mais seguros para o ambiente construído.

## **2-CONTEXTUALIZAÇÃO**

### **2.1- O incêndio da Boate Kiss**

O incêndio da Boate Kiss teve início com a utilização de um artefato pirotécnico de alta temperatura, proibido em ambientes fechados. O dispositivo foi acionado por um integrante da banda que se apresentava no momento e atingiu o revestimento de espuma acústica inflamável presente no teto. À medida que o material queimava, liberou grandes quantidades de gases tóxicos, levando as vítimas à asfixia e ao envenenamento. Fatores semelhantes já haviam causado tragédias anteriores e, infelizmente, continuam a fazê-lo, como exemplificado pelo recente incêndio em uma casa noturna em Kočani, na Macedônia do Norte, em 2025 (Testorides; Grdanoski, 2025).

Investigações (Arigonyet *et al.*, 2013; Silva *et al.*, 2013; Trevisan; Jesus, 2013; Rabello Sodré, 2024) indicaram que, no caso da Boate Kiss, os riscos

foram subestimados por diferentes atores: gestores, usuários e autoridades públicas. Destacam-se os seguintes aspectos:

1. **Gestores** – realizaram modificações significativas no ambiente, incluindo alterações nas rotas de fuga e nos fluxos de evacuação, além da utilização de materiais de acabamento inadequados, diferentes daqueles especificados no projeto original apresentado ao Corpo de Bombeiros. Muitas dessas alterações foram realizadas sem a aprovação prévia dos órgãos reguladores competentes.
2. **Usuários** – um integrante da banda utilizou um artefato pirotécnico de baixo custo, proibido em ambientes internos, o que aumentou significativamente a probabilidade de ignição.
3. **Poder público** – a casa noturna operava sem a licença exigida, em um contexto no qual, à época, o Estado do Rio Grande do Sul possuía procedimentos excessivamente flexibilizados para a emissão do Auto de Vistoria do Corpo de Bombeiros (AVCB), o que facilitava a aprovação de edificações.

Embora cada estado brasileiro possua legislação própria relacionada ao projeto de rotas de fuga, o arcabouço regulatório nacional é fornecido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em particular por meio da norma ABNT NBR 9077 (ABNT, 1993; emendada em 2001; revisada em 2025). A edição de 2025 cancela e substitui formalmente as versões anteriores; entretanto, a análise desenvolvida neste estudo baseia-se na versão vigente à época do incêndio da Boate Kiss (1993, com a emenda de 2001).

Embora a norma não aborde explicitamente aspectos cognitivos e psicológicos relacionados à percepção e à resposta humana (Braga; Moita, 2023), ela estabelece os requisitos físicos mínimos de segurança para a evacuação de edificações. Em paralelo, normas internacionais, como a NFPA 101 – Life Safety Code (NFPA, 2018), adotam princípios comparáveis,

reforçando a relevância global dos critérios de dimensionamento das rotas de fuga.

## **2.2- Definição de saída de emergência - NBR 9077**

Para os fins deste estudo, a definição conceitual de saída de emergência segue a NBR 9077 (ABNT, 1993, p. 4):

### **3.48 – Saída de emergência, rota de saída ou saída**

“Caminho contínuo, devidamente protegido, proporcionado por portas, corredores, halls, passagens externas, balcões, vestíbulos, escadas, rampas ou outros dispositivos de saída ou combinações destes, a ser percorrido pelo usuário, em caso de um incêndio, de qualquer ponto da edificação até atingir a via pública ou espaço aberto, protegido do incêndio, em comunicação com o logradouro.”

A NBR 9077 (ABNT, 1993) trata os termos “saída de emergência”, “rota de saída” e “saída” como conceitualmente equivalentes, enfatizando a continuidade de um caminho protegido que conduz a um local seguro.

Em contraste, a NFPA 101 – Life SafetyCode (NFPA, 2018) adota uma estrutura segmentada para os meios de egresso, distinguindo entre *exit access*, *exit* e *exit discharge*. Essa separação conceitual reforça a independência estrutural de cada componente do sistema de fuga e fornece um arcabouço analítico mais granular.

Embora ambas as normas tenham como objetivo formal garantir a evacuação segura, elas diferem quanto ao grau de segmentação conceitual e de detalhamento prescritivo, bem como quanto ao equilíbrio adotado entre requisitos de segurança e considerações práticas de projeto.

### **2.3- Tempo de evacuação segura**

O tempo necessário para a evacuação segura dos ocupantes é um dos parâmetros centrais na análise do risco de incêndio em edificações. Para essa avaliação, são amplamente empregados em estudos de segurança contra incêndio os conceitos clássicos de *ASET* (*Available Safe Egress Time* – tempo disponível para evacuação segura) e *RSET* (*Required Safe Egress Time* – tempo necessário para evacuação segura) (Kinatederet *al.*, 2015; Schröder, 2016).

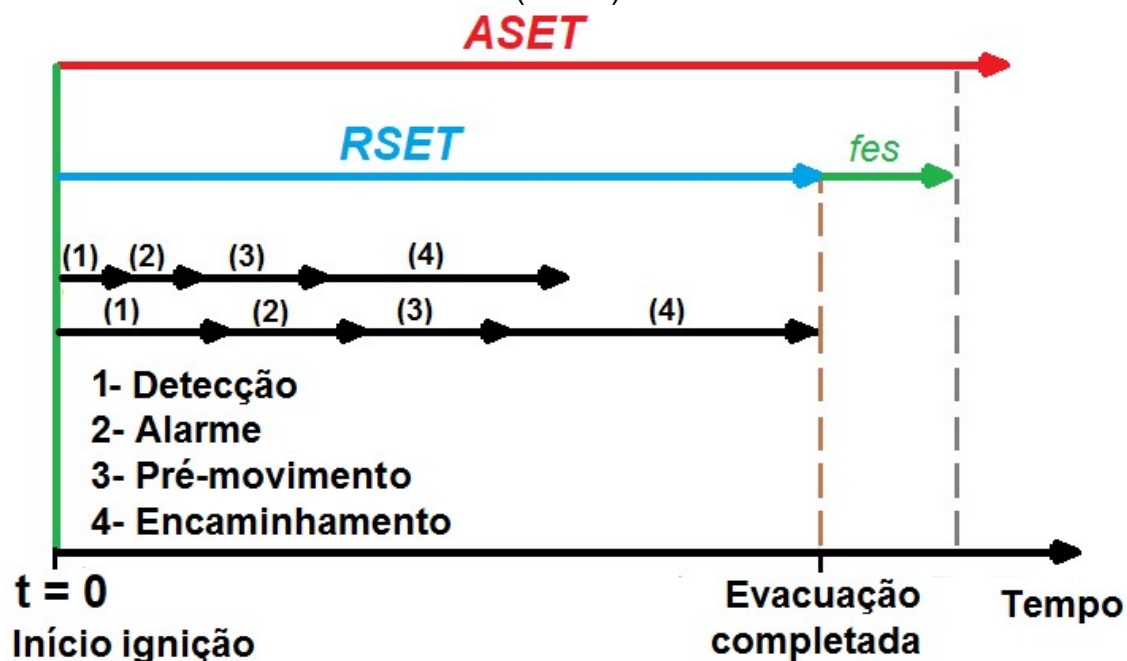
O *ASET* representa o tempo disponível antes que as condições ambientais se tornem críticas, enquanto o *RSET* corresponde ao tempo necessário para que os ocupantes detectem o incêndio, processem cognitivamente a situação, respondam ao alarme (quando presente) e se desloquem até uma saída segura.

Para que a evacuação seja considerada segura, é condição necessária que *ASET* seja maior que *RSET*. Em termos práticos, essa relação pode ser expressa pela Equação (1), na qual *fes* representa um fator empírico de segurança (Schröder, 2016):

$$ASET > (RSET + fes) \quad (1)$$

A Figura 1 ilustra essa relação entre *ASET* e *RSET*, apresentando também, de forma esquemática, as principais fases do processo de evacuação (detecção, alarme, pré-movimento e encaminhamento) que influenciam diretamente o tempo total de evacuação.

**Figura 1**-Representação conceitual da relação entre o Tempo Disponível para Evacuação Segura (ASET) e o Tempo Necessário para Evacuação Segura (RSET).



Fonte: Adaptado de Schröder (2016).

### 3- METODOLOGIA

A simulação computacional no campo da segurança contra incêndio tem se tornado cada vez mais relevante, pois possibilita verificações e análises que complementam o conhecimento técnico e auxiliam a tomada de decisão (Pan *et al.*, 2007; Uliana *et al.*, 2022; Kinkelet *et al.*, 2025). Nesse contexto, foi desenvolvido um modelo computacional do processo de evacuação da Boate Kiss, com o objetivo de fornecer subsídios fundamentados e contextualizados para a discussão de questões relacionadas ao dimensionamento de saídas de emergência.

O estudo foi conduzido por meio de experimentos computacionais utilizando o programa Fuga v.2.0. Esse software, desenvolvido em Python, simula o movimento humano em cenários de evacuação em edificações. Sua arquitetura modular é composta por um módulo central, responsável pela geração do ambiente e pelo cálculo das rotas ótimas, e por um módulo dinâmico dedicado ao movimento dos agentes. Nessa etapa, o movimento é representado pela incorporação de parâmetros ergonômicos, como antropometria, rotação, translação e velocidade de caminhada. O programa também permite o ajuste de rotas em tempo real por meio de lógica fuzzy, possibilitando que os agentes desviem de obstáculos ou de outros indivíduos durante a evacuação.

A plataforma Fuga foi originalmente desenvolvida durante a pesquisa de doutorado do autor (Braga, 2018) e desde então tem sido aprimorada para aplicações acadêmicas em análise de evacuação. Do ponto de vista metodológico, o modelo segue a abordagem de sistemas multiagentes baseados em regras (MAS – *Multi-Agent System*), na qual cada agente opera de acordo com regras locais de decisão orientadas por mapas de distância previamente calculados e por um algoritmo de sombreamento de paredes combinado com mecanismos de prevenção de colisões. Diferentemente das formulações contínuas baseadas em forças sociais, o sistema adota uma estrutura lógica discreta, permitindo controle explícito das restrições geométricas e dos parâmetros de movimento.

O software é uma ferramenta acadêmica orientada à pesquisa, disponível para colaboração científica, e não constitui um produto comercial. O sistema não passou por certificação formal em estruturas regulatórias internacionais, sendo sua aplicação neste estudo restrita à análise paramétrica de evacuação sob hipóteses geométricas e comportamentais controladas.

Os agentes foram modelados em condições sem pânico, seguindo comportamento cooperativo baseado em regras em direção à saída mais

próxima. Ajustes adaptativos locais limitados foram implementados por meio de mecanismos de lógica fuzzy; contudo, o modelo não incorpora comprometimento cognitivo nem dinâmicas irracionais de multidões.

A configuração geométrica da boate foi discretizada utilizando uma malha regular com resolução espacial de 5 cm. Elementos estruturais, como paredes, barreiras e obstáculos fixos, foram representados como células de malha intransponíveis. A partir dessa discretização, mapas de distância foram calculados por meio de algoritmos de caminho mínimo para determinar rotas ótimas de evacuação. O modelo já foi previamente testado por meio de ensaios controlados *in silico*, demonstrando elevada consistência entre as velocidades de caminhada definidas e simuladas (erros inferiores a 1%), bem como tempos de evacuação comparáveis em execuções repetidas. Esses resultados sustentam a consistência interna e a reprodutibilidade das simulações.

Neste estudo, o ambiente da Boate Kiss foi modelado de forma simplificada, preservando os elementos críticos para a evacuação, especialmente as rotas de fuga e as larguras de saída. As simulações foram realizadas considerando (i) obstruções localizadas nas áreas de entrada e saída da boate e (ii) exclusivamente a restrição imposta pela largura da saída principal. As grades metálicas existentes na boate real não foram modeladas individualmente como obstáculos discretos; em vez disso, seu efeito restritivo foi representado pela redução efetiva da largura disponível de saída, que constitui a principal restrição geométrica analisada neste estudo. Obstruções internas não relacionadas a essas áreas não foram consideradas, pois não representavam os principais fatores limitantes do processo de evacuação.

Foi gerada uma população de 1.000 agentes, baseada em três categorias antropométricas discretizadas de tamanho corporal (pequeno, médio e grande), seguindo os perfis propostos por Still (2000), que abrangem aproximadamente 95% da população. A projeção do corpo humano foi discretizada na malha de 5 cm, sendo considerada ocupada uma célula quando

mais da metade de sua área era coberta pela imagem projetada do corpo, resultando em perfis binários de ocupação.

As três categorias correspondem a diferentes áreas ocupadas e projeções corporais discretizadas: pequeno (28 células de malha, 700 cm<sup>2</sup>; dimensões laterais máximas de 40 cm × 25 cm), médio (36 células de malha, 900 cm<sup>2</sup>; dimensões laterais máximas de 50 cm × 25 cm) e grande (52 células de malha, 1300 cm<sup>2</sup>; dimensões laterais máximas de 60 cm × 30 cm). Os perfis resultantes consistem em formas binárias irregulares derivadas da projeção humana discretizada, e não em geometrias simplificadas retangulares ou circulares. Essas variações influenciam a ocupação espacial e o tratamento de colisões, mas não incorporam diferenças de altura, peso ou idade. Os agentes receberam distribuição espacial inicial e orientações aleatórias, sempre posicionados além da área de entrada/saída.

Cada cenário foi simulado múltiplas vezes para considerar a variabilidade estocástica na posição inicial dos agentes. As simulações foram executadas até que a evacuação completa fosse atingida, sendo o tempo total de evacuação registrado correspondente ao componente de movimento do *RSET*.

Os tempos de evacuação obtidos nas simulações foram então comparados com os conceitos de *ASET* e *RSET*, a fim de avaliar a adequação das condições de segurança. Os resultados apresentados na seção seguinte quantificam a relação entre largura de saída e desempenho da evacuação sob as hipóteses geométricas e comportamentais definidas.

## **Revista FLAMMAE**

**Revista Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco**

**Artigo Publicado V.12 Nº38–Janeiro a Junho 2026 - ISSN 2359-4829 (print)**

Versão on-line (ISSN 2359-4837) disponível em: <http://www.revistaflammae.com>.

---

## **4- RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1- Investigações recentes sobre o incêndio da Boate Kiss**

Antes de apresentar os resultados das simulações, é importante situar este estudo no contexto mais amplo das investigações recentes sobre o incêndio da Boate Kiss, que têm adotado perspectivas metodológicas complementares. Hennemann et al. (2022), por meio de simulações acopladas de incêndio utilizando o *Fire Dynamics Simulator* (FDS) e simulações de evacuação com o software Pathfinder, calibradas com ensaios laboratoriais e evidências documentais, analisaram tanto as condições reais da edificação quanto um cenário compatível com as normas brasileiras, enfatizando a influência combinada dos materiais combustíveis de acabamento e da configuração das saídas de emergência nos resultados em termos de vítimas.

Freitas e Rodrigues (2023), com base em procedimentos estruturados de investigação de incêndio e em simulações numéricas do desenvolvimento do fogo, destacaram o caráter multifatorial da tragédia, identificando irregularidades estruturais, incluindo largura insuficiente das rotas de saída e obstruções nas vias de evacuação. Trabalho mais recente de Freitas e Rodrigues (2026) ampliou essa análise por meio de simulações integradas de incêndio e evacuação, reforçando o papel da configuração das saídas e do descumprimento das exigências normativas no fracasso da evacuação.

Sob a perspectiva comportamental, Ono *et al.* (2025), com base em pesquisas com sobreviventes, destacaram o atraso no reconhecimento do incêndio, as interações sociais e a confusão nos estágios iniciais da evacuação, enfatizando a influência de fatores perceptivos e cognitivos.

Enquanto esses estudos incorporam dinâmica do incêndio, modelagem de evacuação e variabilidade comportamental, o presente trabalho isola a restrição geométrica da largura das saídas sob hipóteses controladas de

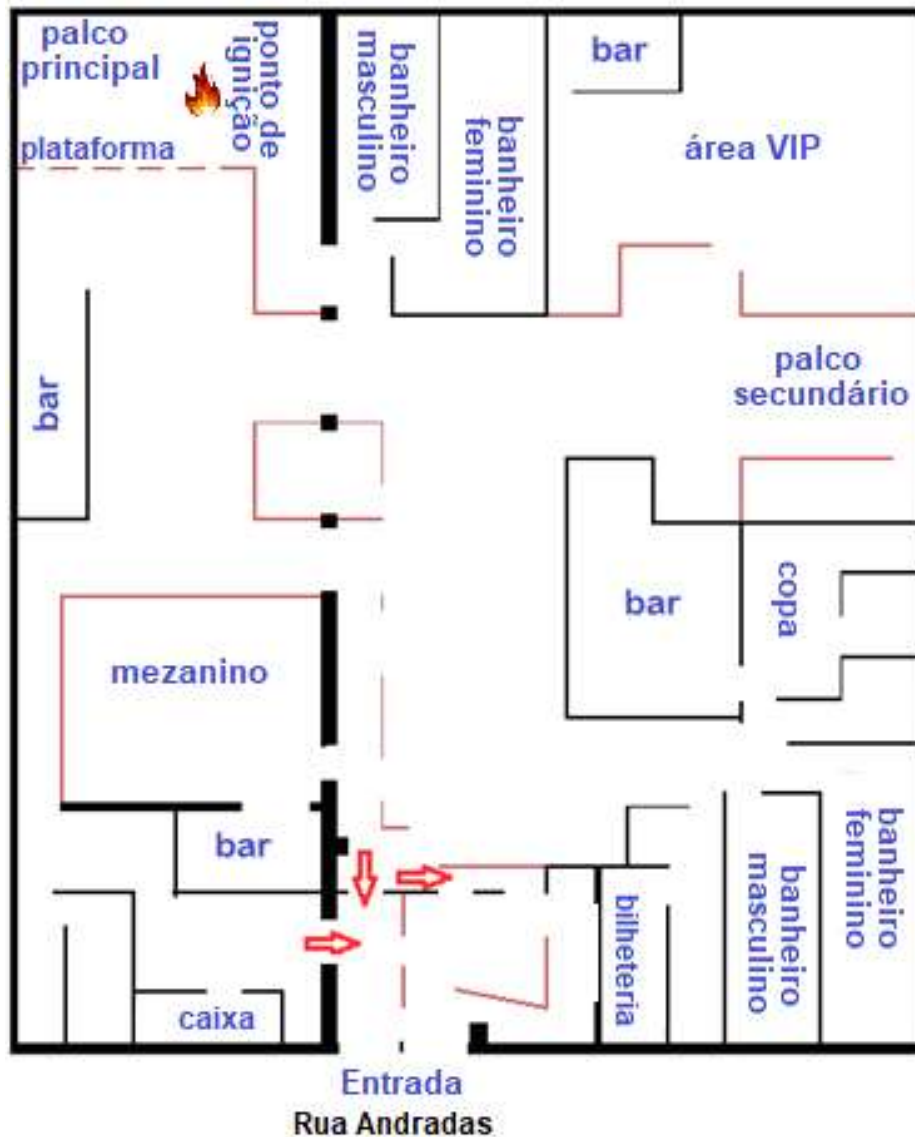
evacuação, com o objetivo de quantificar seu impacto específico no desempenho da evacuação.

Apesar dos avanços significativos obtidos por meio de análises integradas de dinâmica do incêndio, modelagem de evacuação e comportamento humano, ainda existe valor em isolar parâmetros geométricos específicos para quantificar sua contribuição individual para o desempenho da evacuação. Em particular, o impacto direto da largura das saídas, sob hipóteses comportamentais controladas, merece exame específico, pois permite uma avaliação mais clara dos limites do dimensionamento prescritivo. Assim, o presente estudo adota uma abordagem computacional paramétrica para avaliar os tempos de evacuação em função da largura das saídas na configuração da Boate Kiss.

#### **4.2- O ambiente construído**

A Boate Kiss possuía formato aproximadamente retangular, com cerca de 23,18 m ao longo da fachada frontal e 26,45 m de profundidade. O projeto de 2009 indicava uma área construída total de 615 m<sup>2</sup> (Silva *et al.*, 2013). A boate era essencialmente composta por um único pavimento principal, embora internamente apresentasse mezaninos e pequenas escadas, além de um escritório em um segundo nível parcial localizado acima do lado esquerdo da entrada. A Figura 2 apresenta uma vista superior simplificada da boate, destacando alguns de seus principais elementos arquitetônicos.

**Figura 2** - Planta simplificada da Boate Kiss em vista superior, destacando as principais áreas de circulação e rotas de saída (sem escala).



Fonte: Adaptado de Braga e Moita (2017).

Internamente, a Boate Kiss apresentava uma configuração relativamente complexa, com diferentes setores e corredores. Existiam duas áreas independentes de apresentação musical: um salão principal maior onde o

incêndio se iniciou na cobertura sobre o palco elevado, e um salão secundário menor.

Na Figura 2, três setas vermelhas são apresentadas na região de saída. Essas setas representam os gargalos teóricos mais críticos do fluxo de evacuação, com base na configuração real da boate antes da tragédia. Esses pontos correspondiam aos elementos do ambiente que, em princípio, controlavam e restringiam o movimento das pessoas, pelo menos nos momentos iniciais do incidente.

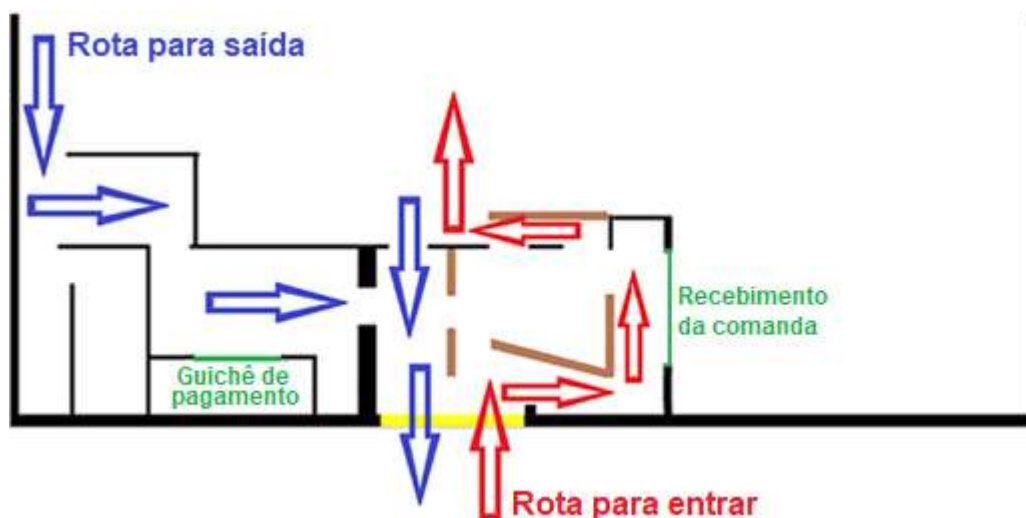
Com exceção da entrada, a edificação era acusticamente vedada em relação ao exterior; inclusive as janelas, mesmo as localizadas nos banheiros, haviam sido bloqueadas, impedindo a circulação de ar com o ambiente externo. Como resultado, o suprimento limitado de oxigênio confinou o foco principal do incêndio à região de ignição e impediu que ele se propagasse amplamente pela estrutura. Conseqüentemente, a maior parte das vítimas foi causada por asfixia e inalação de gases tóxicos, como HCN e CO, produzidos pela queima da espuma de poliuretano (Antônio *et al.*, 2013; Bassi *et al.*, 2014; Avelar *et al.*, 2022).

A entrada e a saída da boate eram adjacentes, e seu funcionamento era regulado por divisórias internas, incluindo grades metálicas que restringiam a circulação. Essas estruturas criavam passagens em formato de funil, direcionando os frequentadores para balcões de atendimento responsáveis pelo controle de entrada e saída. Embora essas grades não fizessem parte do projeto arquitetônico original de 2009 (Silva *et al.*, 2013), elas alteraram significativamente a geometria efetiva de evacuação.

A Figura 3 apresenta um esquema da área de entrada e saída, destacando paredes e portas fechadas (preto), grades (marrom), balcões de controle de serviço (verde) e aberturas de saída (amarelo). Essa configuração resultava em passagens estreitas e canalizadas, restringindo o fluxo simultâneo

de pessoas e contribuindo diretamente para a formação de gargalos críticos. No momento do incêndio, a abertura posicionada mais centralmente, normalmente de uso secundário, tornou-se uma rota de fuga importante devido ao congestionamento na saída principal.

**Figura 3** - Esquema detalhado da área de entrada e saída, indicando paredes e portas fechadas (preto), grades (marrom), balcões de controle de serviço (verde) e aberturas de saída (amarelo), ilustrando as restrições geométricas responsáveis pela limitação do fluxo (sem escala).



Fonte: Adaptado de Braga e Moita (2017).

Em condições normais de funcionamento, todos os procedimentos de entrada e saída eram supervisionados por funcionários; contudo, durante a emergência, as restrições físicas impostas pelas grades e pela geometria do layout tornaram-se os principais fatores limitantes da evacuação.

#### **4.3- Desempenho da saída efetiva**

Inicialmente, considerando um ambiente simplificado contendo apenas as obstruções na região de entrada/saída, foi simulada a evacuação completa da casa noturna com 1.000 agentes, representando um cenário de alta ocupação fisicamente plausível para o ambiente. Embora os números oficiais de ocupantes no momento do incêndio permaneçam incertos, estimativas documentadas na literatura indicam valores na faixa de aproximadamente 691 a 771 pessoas (Freitas; Rodrigues, 2026). A adoção de uma população simulada maior fornece uma base conservadora para a avaliação do desempenho da evacuação sob condições de demanda elevada.

Os agentes receberam posições e orientações iniciais aleatórias, sempre localizados além da área de entrada/saída. Apesar dessa distribuição aleatória, em cada simulação foi garantido que pelo menos um agente se encontrasse inicialmente no ponto mais distante da saída (canto superior direito na vista em planta), representando a condição de maior distância de evacuação.

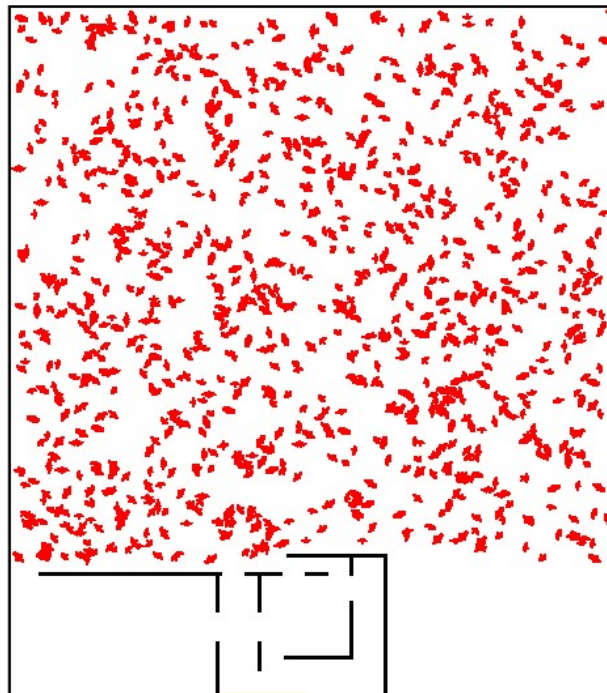
Na modelagem, assumiu-se que os agentes operavam sob parâmetros comportamentais pré-definidos, dentro dos limites de um movimento adaptativo baseado em regras, representando um cenário idealizado de evacuação sem colapso comportamental induzido por pânico. É importante observar que, no incêndio real, o comportamento adaptativo foi rapidamente sobrepulado, dando lugar ao caos e ao pânico. Assim, os tempos de evacuação simulados correspondem a condições de fluxo estruturado, podendo ser interpretados como uma linha de base conservadora para análise. Algumas das grades metálicas que contribuíram para o esmagamento de pessoas foram, de fato, derrubadas pela multidão durante o evento.

A Figura 4 ilustra uma das simulações realizadas, em que o painel (a) apresenta o ambiente no instante inicial e o painel (b) um estágio intermediário

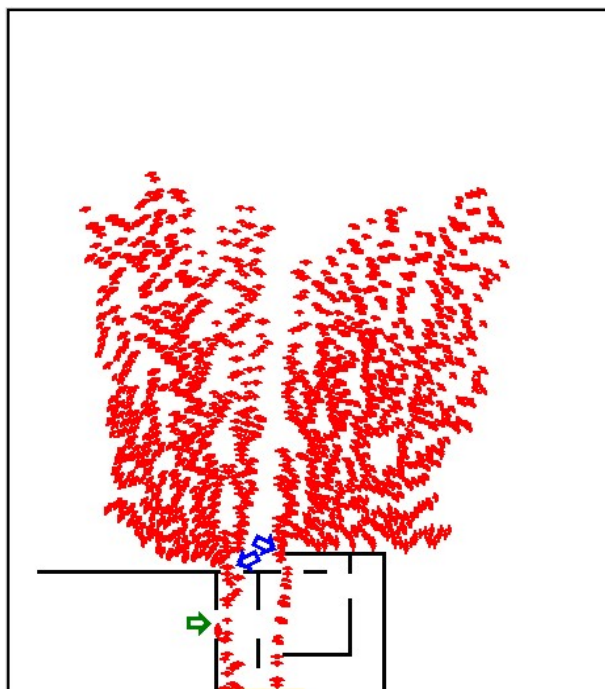
da evacuação. A simulação foi repetida cinco vezes, resultando em um tempo total de evacuação de  $421 \pm 6$  s.

**Figura 4** - Instantâneos da simulação do layout simplificado da boate: (a) estágio inicial com 1.000 agentes distribuídos aleatoriamente; (b) estágio intermediário mostrando a formação do fluxo em direção à saída (agentes em vermelho, obstáculos em preto e saída em laranja).

(a)



(b)



Fonte: Autores.

Para melhor compreensão, a Figura 4b destaca a formação e a persistência de dois fluxos distintos de evacuação (setas azuis), nos quais apenas um agente por passagem consegue se deslocar em direção à saída por vez. Na prática, isso significa que, no máximo, dois agentes poderiam avançar simultaneamente em paralelo em direção à segurança. O restante da população tende a se acumular na entrada desses canais estreitos, formando gargalos perigosos.

É evidente que essa condição de fila, pessoas aguardando sua vez para atravessar a saída, representa um cenário hipotético de evacuação estruturada e não reproduz as condições caóticas observadas durante o evento real. Ainda assim, a simulação fornece indícios das condições físicas que podem ter contribuído para o rápido colapso do comportamento ordenado, particularmente as altas densidades de ocupação e a restrição do fluxo decorrente de gargalos geométricos severos.

Além disso, a Figura 4b mostra que a rota proveniente da área de caixa/pagamento (seta verde) foi utilizada de forma satisfatória apenas no início da evacuação, permanecendo posteriormente subutilizada. Mesmo supondo que essa passagem tivesse funcionado de maneira plenamente eficiente (o que não ocorreu), na prática no máximo três pessoas poderiam ter deixado a boate simultaneamente. Assim, a largura funcional efetiva da saída de emergência, considerando a configuração da boate no início do incêndio, era de apenas 3 UP (unidades de passagem), equivalentes a 1,65 m (conforme definido na NBR 9077 (ABNT, 1993), onde 1 UP = 0,55 m).

Em uma situação não adaptativa, quando a multidão passa a se comportar de maneira desorganizada, impaciente e aparentemente caótica (Ibrahim et al., 2017), como de fato ocorreu, uma tragédia torna-se inevitável, pois é irrealista esperar que as pessoas aguardem calmamente pela abertura de espaço para escapar. Além disso, essa largura efetiva de 1,65 m encontrava-se significativamente abaixo do mínimo legalmente exigido pela NBR 9077 (ABNT, 1993), que prescrevia 4,4 m (8 UP) para o estabelecimento.

#### **4.4- Impacto da largura da saída na comparação entre *RSET* e *ASET***

Simulações adicionais foram realizadas com o programa Fuga para determinar qual largura efetiva de saída de emergência teria sido necessária para evitar que a tragédia atingisse a magnitude observada.

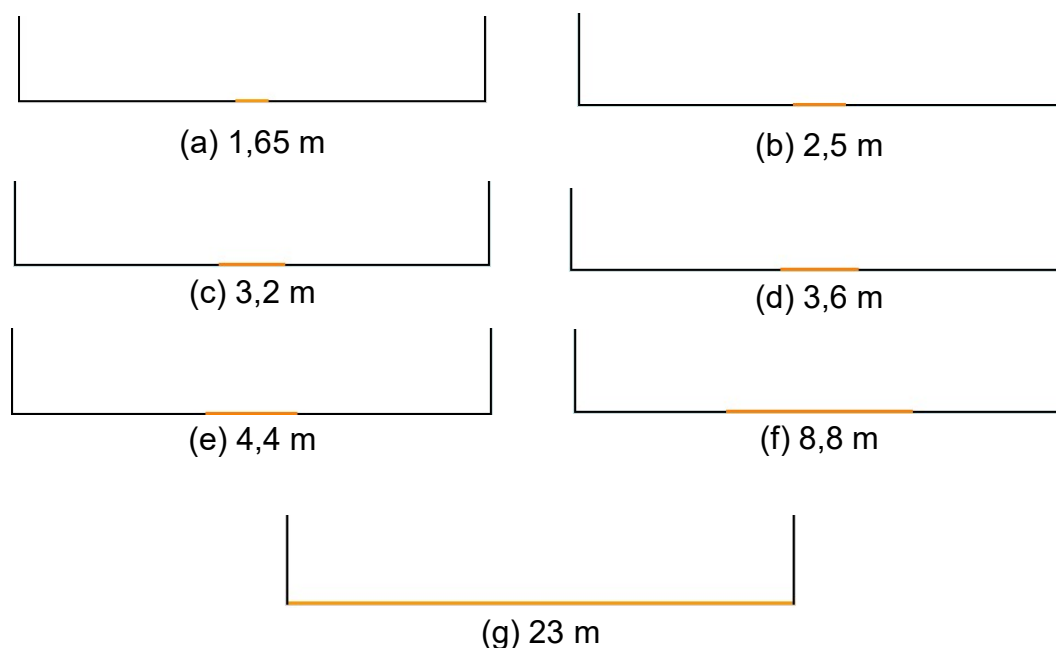
Nessas novas simulações, a largura da saída foi variada de 1,65 m (cenário mais desfavorável, consistente com as condições observadas na noite do incêndio) até 23 m (cenário mais favorável, assumindo que toda a fachada lateral da boate voltada para a Rua dos Andradas funcionasse como saída).

Assim como no experimento anterior, foram considerados 1.000 agentes, com posições e orientações iniciais aleatórias em cada simulação, todos localizados atrás da área de entrada, e cada um com velocidade máxima de

caminhada de 1,5 m/s. Como o objetivo era isolar a influência da largura da saída sobre o tempo de evacuação, nenhuma obstrução interna foi incluída no modelo, nem mesmo aquelas presentes na área de entrada, para garantir que não interferissem nos resultados.

A Figura 5 apresenta as diferentes larguras de saída analisadas, enquanto a Tabela 1 mostra os tempos de evacuação correspondentes em função da largura total da saída.

**Figura 5** - Representação frontal do ambiente modelado voltado para a Rua dos Andradas, ilustrando as diferentes larguras de saída analisadas (destacadas em laranja).



Fonte: Autores.

**Tabela 1** - Tempo total de evacuação obtido nas simulações para diferentes larguras de saída de emergência na configuração simplificada da boate, sem obstruções internas.

Largura da saída (m)	Nº de UP (Unidades de Passagem)	Tempo de movimento de evacuação (s)
<b>1,65</b>	<b>3</b>	<b>423,3</b>
2,5	≈ 4,5	313,4
3,2	≈ 5,8	244,4
3,6	≈ 6,5	218,3
<b>4,4</b>	<b>8</b>	<b>180,5</b>
<b>8,8</b>	<b>16</b>	<b>89,2</b>
23	≈ 41,8	37,1

Fonte: Autores.

Nesse cenário idealizado, em que apenas o tempo de deslocamento é considerado e o fator de segurança *fes* é desconsiderado, os tempos de evacuação apresentados na Tabela 1 podem ser interpretados como os valores correspondentes de *RSET*. Em contraste, considerando o rápido desenvolvimento da fumaça relatado durante o incêndio da Boate Kiss, estimou-se que condições insustentáveis teriam se estabelecido em aproximadamente 90 s (Braga; Moita, 2017), com base em observações experimentais da ignição da espuma e da propagação da fumaça. Esse valor é adotado aqui como uma janela indicativa de tempo disponível para evacuação segura (*ASET*).

Simulações mais recentes de dinâmica do incêndio indicam que a fumaça já poderia preencher o interior da edificação em menos de 70 s em condições realistas, restringindo severamente as oportunidades de evacuação (Freitas; Rodrigues, 2026). Essas estimativas fornecem um intervalo razoável

de valores plausíveis para o *ASET*. É importante observar que a adoção de 90 s como referência não subestima a gravidade do cenário; se um *ASET* menor for considerado, a discrepância entre o tempo necessário e o tempo disponível para evacuação segura torna-se ainda mais crítica.

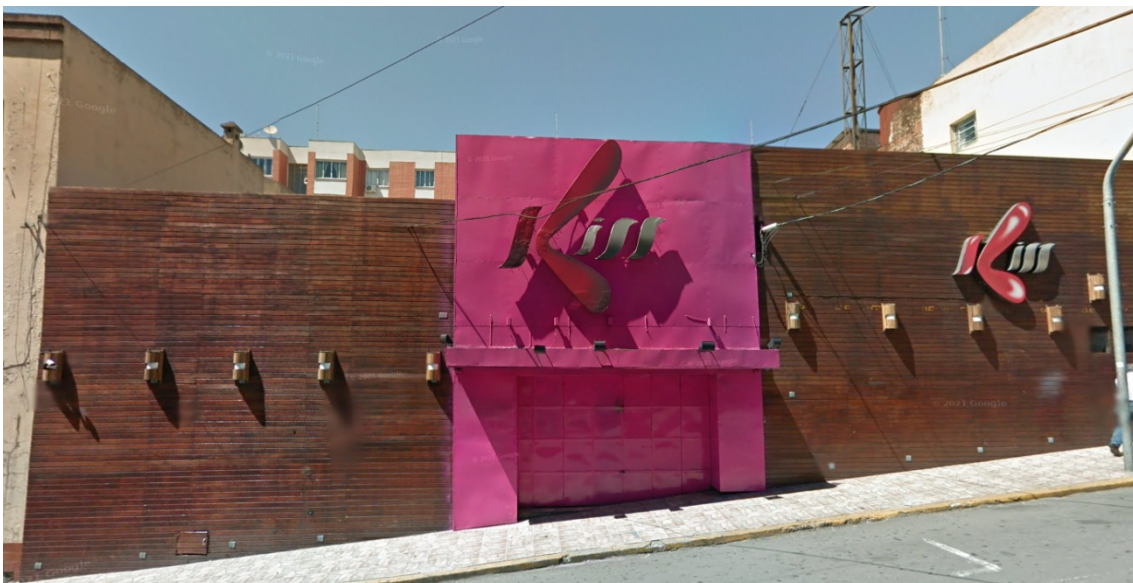
Assim, para que *RSET* ao menos igualasse o *ASET*, seria necessária uma largura de saída de emergência de 8,8 m, valor correspondente ao dobro da largura prescrita pela NBR 9077 (ABNT, 1993). No contexto do ambiente da Boate Kiss, torna-se claro que mesmo uma largura conforme o mínimo prescritivo não teria garantido uma evacuação segura nas condições da tragédia. Para a largura legalmente prescrita de 4,4 m, o *RSET* obtido nas simulações foi de 180,5 s, aproximadamente duas vezes o *ASET* de referência. Isso indica que, mesmo que o layout original tivesse sido mantido em estrita conformidade com a norma, um desfecho catastrófico ainda seria provável, embora possivelmente em escala menor do que a efetivamente observada.

É importante enfatizar, contudo, que isso não indica necessariamente uma falha da regulamentação em si quanto a esse parâmetro específico (largura mínima total). Em vez disso, a combinação de circunstâncias presentes na boate criou uma situação crítica muito além do que a norma poderia razoavelmente ter antecipado. Esse fato destaca a importância crucial de outras medidas de controle.

No caso estudado, além do dimensionamento das saídas de emergência, diversos fatores estiveram envolvidos. Entre eles, destaca-se a falha no controle dos materiais de acabamento, parâmetro recorrente em diversos grandes desastres envolvendo incêndios. Deficiências no controle de materiais de acabamento internos têm sido sistematicamente observadas em vários incêndios de grande magnitude (Santos; Vieira, 2021). Notavelmente, os dois maiores desastres por incêndio no Brasil, a tragédia do Gran Circo Norte-Americano em Niterói (Knauss, 2007) e a tragédia da Boate Kiss, ilustram de forma clara o impacto crítico do controle inadequado desses materiais.

Por fim, um ponto adicional de preocupação é que as duas saídas de emergência da Boate Kiss estavam parcialmente posicionadas lado a lado (Figura 6). A ausência, na NBR 9077 (ABNT, 1993), de exigência explícita quanto à independência e à separação espacial entre saídas é um aspecto relevante e contraria lições bem estabelecidas provenientes de incêndios anteriores em casas noturnas (Duval, 2006; NFPA, 2018).

**Figura 6** - Fachada da Boate Kiss ilustrando a proximidade espacial das duas portas adjacentes de entrada/saída.



**Fonte:** *Google Street View*, Rua dos Andradas, Santa Maria, Brasil, imagem capturada em outubro de 2012 (adaptada pelos autores).

Uma configuração desse tipo tende a ser naturalmente perigosa, pois um incidente que comprometa a rota de fuga nessa área pode não deixar nenhuma alternativa viável de evacuação. Além disso, saídas adjacentes não reduzem significativamente o tempo médio de evacuação, o que poderia ser efetivamente alcançado por meio de adequado espaçamento entre elas (Braga; Moita; Almeida, 2019). Trata-se de uma questão importante ainda em aberto,

que merece discussão mais aprofundada e deve ser abordada em estudos futuros.

## **5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A modelagem computacional realizada neste estudo indica que, sob condições de evacuação urgente na Boate Kiss, uma evacuação segura dentro do tempo disponível para evacuação não teria sido possível dadas as restrições geométricas existentes. Sob as hipóteses de modelagem adotadas neste trabalho, para que a maioria dos ocupantes conseguisse evacuar dentro desse intervalo de tempo, a saída principal e sua respectiva rota de fuga teriam necessitado de uma largura mínima da ordem de 8,8 m, aproximadamente o dobro do valor prescrito pela ABNT NBR 9077:1993 (4,4 m). Essa estimativa deve ser interpretada como um resultado paramétrico dentro das simplificações geométricas e comportamentais definidas; variações nas hipóteses de *ASET* ou no comportamento dos ocupantes poderiam inclusive aumentar a largura necessária. Assim, mais do que indicar uma deficiência intrínseca da norma em si, os resultados sugerem que a combinação de fatores desfavoráveis presentes na noite da tragédia produziu uma condição crítica além das hipóteses normalmente consideradas no dimensionamento prescritivo.

O layout real da boate agravou ainda mais essa situação ao criar gargalos severos de circulação. Na modelagem, essa condição foi representada por uma largura efetiva de saída de aproximadamente 1,65 m, correspondente à configuração restrita de fluxo documentada no início do incêndio. Embora essa representação simplifique as complexas interações físicas que ocorreram durante o evento, os valores de *RSET* obtidos foram substancialmente superiores ao *ASET* estimado, reforçando a conclusão de

que as restrições geométricas, por si só, já eram suficientes para produzir um cenário crítico de evacuação.

Além disso, embora a ABNT NBR 9077:1993 exija mais de uma saída para determinadas ocupações, a norma não enfatiza explicitamente a independência funcional e a separação espacial entre essas saídas. Essa omissão pode permitir configurações em que as saídas sejam posicionadas de forma adjacente, como ocorreu na Boate Kiss, um arranjo que aumenta a interferência entre fluxos de evacuação e contraria princípios amplamente reconhecidos na literatura internacional de segurança contra incêndio.

Em síntese, as simulações fornecem evidências quantitativas de que o cumprimento isolado de requisitos prescritivos pode não garantir margens adequadas de segurança em condições de ocupação extrema e geometrias desfavoráveis. Os resultados obtidos neste trabalho, embora dependentes das hipóteses de modelagem adotadas, indicam que restrições geométricas podem influenciar de forma crítica o desempenho da evacuação, mesmo na ausência de deterioração comportamental ou de dinâmicas de pânico.

Essas conclusões ressaltam a importância de uma reavaliação crítica das regulamentações brasileiras, não apenas no que se refere à largura e à separação espacial das saídas, mas também em relação ao controle de materiais de acabamento e da ocupação dos ambientes, além de reforçar o papel da simulação computacional como ferramenta de apoio à decisão baseada em desempenho no projeto de segurança contra incêndio. Estudos futuros devem ampliar essa abordagem, incorporando variabilidade comportamental sob condições de alto estresse e analisando diferentes tipologias de edificações, de modo a ampliar a robustez analítica da metodologia.

## REFERÊNCIAS

ANTÔNIO, A.C.P.; CASTRO, P.S.; FREIRE, L.O. Smoke inhalation injury during enclosed-space fires: an update. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 39, nº 3, p. 373–381, jun. 2013. <https://doi.org/10.1590/S1806-37132013000300016>.

ARBEX, D. **Todo dia a mesma noite**: a história não contada da Boate Kiss. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2018.

ARIGONY, M.M.; MEINERZ, S.L.; VIANNA, M.R.; ZANELLA, G.G.; SOUZA, L. **Relatório Final**: Inquérito Policial nº 94/2013/150501. Santa Maria, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9077 - Saídas de Emergência em Edifícios**. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT, 35 p., 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9077:2001 -Saídas de Emergência em Edifícios**: emenda. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT, 1 p., 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9077:2025 -Projeto de Saídas de Emergência**. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT, 51 p., 2025.

AVELAR, M.C.M.; COUTO, L.C.; BERNARDES, V.; ROCHA, L.L.V. Inhalation of toxic gases in the Kiss Nightclub disaster: an example of inhalation injury from indoor fires. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 12, p. 79554-79570, 2022.<https://doi.org/10.34117/bjdv8n12-182>.

BASSI, E.; MIRANDA, L.C.; TIerno, P.F.G.M.M.; FERREIRA, C.B.; CADAMURO, F.M.; FIGUEIREDO, V.R.; DAMASCENO, M.C.T.; MALBOUISSON, L.M.S. Assistance of inhalation injury victims caused by fire in confined spaces: what we learned from the tragedy at Santa Maria. **Revista Brasileira de Terapia Intensiva**, v. 26, nº 4, p. 421-429, 2014. <https://doi.org/10.5935/0103-507X.20140065>.

BRAGA, H.C. **Modelagem computacional híbrida ergonomicamente embasada da movimentação humana por agentes fuzzy**. 2018. Tese (Doutorado em Modelagem Matemática e Computacional) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

BRAGA, H.C.; MOITA, G.F. On the Boate Kiss Fire and the Brazilian Safety Legislation - What we can learn. **Collective Dynamics**, v. 2, p. 1-21, 2017. <https://doi.org/10.17815/CD.2017.12>.

BRAGA, H.C.; MOITA, G.F. A ótica do pedestre durante sua marcha em um ambiente construído: aplicação conjunta do nível de serviço e do diagrama fundamental pedestre. **Ergodesign & HCI**, v. 11, n. 1, p. 1-9, 2023. <http://dx.doi.org/10.22570/ergodesignhci.v11i1.2002>.

BRAGA, H.C.; MOITA, G.F.; ALMEIDA, P.E.M. The influence of the location of emergency exits over the distance to be covered to the exit of an environment. **Ambiente Construído**, v. 19, nº 2, p. 219–232, abr. 2019. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212019000200318>.

DUVAL, R.F. **NFPA Case Study: Nightclub fires**. Quincy: NFPA, 2006.

FREITAS, R.; RODRIGUES, J.P.C. Investigation on Kiss Nightclub fire. In: INTERNATIONAL FIRE SAFETY SYMPOSIUM – IFireSS, 2023, Rio de Janeiro, Brazil. **Proceedings...** Rio de Janeiro: IFireSS, 2023. p. 93-107.

FREITAS, R.; RODRIGUES, J.P.C. The Evacuation of Kiss Nightclub Fire. 2026. **[Preprint]Research Square**. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-8264958/v1>.

HENNEMANN, G.G.; BOLINA, F.L.; MANICA, G.C.; RODRIGUES, J.P.C. Investigation on the causes and consequences of Kiss nightclub fire in Brazil. **Architecture, Structure and Construction**, v. 2, p. 291–309, 2022. <https://doi.org/10.1007/s44150-022-00032-1>.

KINKEL, E.; VAN DER WAL, C.N.; RONCHI, E.; KULIGOWSKI, E.D. Gaps in Human Behaviour in Fires Research: A Scoping Review. **Fire Technology**, v. 61, p. 5963–6001, 2025. <https://doi.org/10.1007/s10694-025-01781-3>.

KNAUSS, P. A cidade como sentimento: história e memória de um acontecimento na sociedade contemporânea - o incêndio do GranCircus Norte-Americano em Niterói, 1961. **Revista Brasileira de História**, v. 27, nº 53, p. 25–54, jun. 2007. <https://doi.org/10.1590/S0102-01882007000100003>.

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, nº 1, p. 1-26, 8 dez. 2015. <https://doi.org/10.1186/s40038-014-0005-z>.

IBRAHIM, A.M.; VENKAT, I.; WILDE, P. Uncertainty in a spatial evacuation model. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 479, p. 485–497, ago. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.03.024>.

MACHADO, L.F.; BEM, J.S. Boate Kiss: condutas de gestão e as mudanças na legislação de prevenção contra incêndios para equipamentos culturais. **Revista Flammae**, v. 11, n. 33, p. 1-22, 2025.

McCANN, B.; VICTORA, C. A Social Autopsy of the Kiss Nightclub Fire. **Brasiliana: Journal for Brazilian Studies**, v. 12, n. 2, p. 7-57, 2023.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. **NFPA 101: Life Safety Code**. Quincy, MA: NFPA, 2018.

ONO, R.; VITTORINO, F.; NEGRISOLO, W.; FAVERO, E. Understanding the human behavior in the Kiss nightclub fire. **Fire Technology**, v. 61, p. 4499-4524, 2025. <https://doi.org/10.1007/s10694-025-01824-9>.

PAN, X.; HAN, C.S.; DAUBER, K.; LAW, K.H. A multi-agent based framework for the simulation of human and social behaviors during emergency evacuations. **AI & Society**, v. 22, nº 2, p. 113–132, 2007. <https://doi.org/10.1007/s00146-007-0126-1>.

RABELLO SODRÉ, J. G. Legal Blame Game: State and Municipal Accountability in the Kiss Nightclub Fire. **Brasiliana: Journal for Brazilian Studies**, v. 12, n. 2, p. 93-138, 2024.

SANTOS, E.A.; VIEIRA, A. Sistematização de Casos de Incêndios de grande vulto social cujas vítimas originaram-se da ausência de controle de materiais de acabamento e revestimento. **Ignis: revista técnico científica do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina**, v. 6, nº 1, p. 1–16, 2021.

SILVA, L.C.P.; WENGROVER, C.; SALDANHA, M.; BRENTANO, T.; RODRIGUES, E.E.C. **Análise do Sinistro da Boate Kiss em Santa Maria, RS**. Porto Alegre, 2013.

SCHRÖDER, B. **Multivariate methods for life safety analysis in case of fire**. 2016. Doctoral thesis – Forschungszentrum Jülich, Wuppertal, 2016.

STILL, G.K. **Crowd dynamics**. 2000. Thesis (Doctor of Philosophy in Mathematics) – University of Warwick, Warwick, 2000.

TESTORIDES, K.; GRDANOSKI, B. 59 dead and more than 150 injured in nightclub fire in North Macedonia. **Associated Press**, 16 mar.2025. Disponível em: <https://apnews.com/article/north-macedonia-nightclub-fire-abc2033472aeb494b975d34555b13f72>. Acessado em 28 fev 2026.

TREVISAN, M.; JESUS, I.J. **Ação Civil Pública para Condenação por Atos de Improbidade Administrativa**. Santa Maria, 49 p., 2013.

ULIANA, R.S.; LIMA, R.C.A.; RODRIGUEZ, R.Q.; ROMANO, F.V. Simulação Computacional na Segurança Contra Incêndio em Edificações: revisão da literatura. **Arquitetura Revista**, v. 18, n. 1, p. 43-57, 2022. <https://doi.org/10.4013/arq.2022.181.03>.