

TRANSPORTE NÃO MOTORIZADO: SAÍDAS DE EMERGÊNCIA EM LOCAIS COM CONCENTRAÇÃO DE PÚBLICO

Manuela Marques Lalane Nappi

João Carlos Souza

Universidade Federal de Santa Catarina

Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – PósARQ

RESUMO

Compreender o comportamento de multidões durante deslocamentos coletivos pode ser considerado o ponto central da engenharia de tráfego de pedestres. Pesquisas relacionadas ao tema preveem que pequenas características arquitetônicas podem ter grandes efeitos sobre o comportamento e o fluxo de multidões. Este trabalho simula 30 diferentes soluções projetuais de rotas de fuga para um ambiente fechado, avaliando a eficácia de cada uma delas. As soluções analisadas foram divididas em três grupos, conforme a classe de ocupação prevista na correspondente Instrução Normativa do Corpo de Bombeiros, de caráter prescritivo. As simulações foram realizadas no software *PTV Viswalk*, com base no Modelo de Força Social. Para cada grupo analisado, um conjunto de soluções projetuais atendia à referida instrução normativa e os demais conjuntos conformavam proposições alternativas. Os resultados chamam a atenção para importância da tendência mundial de elaboração de projetos de segurança mais baseados em desempenho do que em normas prescritivas.

ABSTRACT

Understanding the behavior of crowds during collective displacements is a central issue of pedestrian traffic engineering. Related research demonstrates that small architectural characteristics can produce significant effects on the behavior of crowds and their flow. Therefore, this work simulates 30 different escape route design solutions for a closed environment, evaluating their effectiveness. The simulations were carried out using the *PTV Viswalk* software, based on the Social Strength Model. The analyzed solutions were divided into three groups according to the occupation class provided in the corresponding prescriptive Normative Instructions of the Fire Department. For each group analyzed, one set of design solutions met the normative instructions while the other sets addressed alternative propositions. The results draw attention to the importance of worldwide trend of developing safety projects based on performance rather than only on prescriptive standards.

1. INTRODUÇÃO

Frequentes desastres ocorridos em eventos que reúnem grande público têm despertado interesse de pesquisadores sobre o tema e impulsionado o desenvolvimento de modelos de simulação de fluxos de pedestres (Moussaïd *et al.*, 2011). Autores como Helbing *et al.* (2000) e Shiwakoti *et al.* (2009, 2014) afirmam que a compreensão do comportamento de multidões durante deslocamentos coletivos é o ponto central da engenharia de tráfego de pedestres. Para Helbing e Johansson (2011), uma multidão se conforma quando há aglomeração de muitas pessoas, a ponto de que a densidade seja suficiente para causar interações contínuas. Quanto maior a densidade, aponta Duives *et al.* (2013), mais pessoas passam a disputar pequenas lacunas e maior se torna o problema de coordenação.

Pesquisas atreladas à dinâmica de pedestres conseguem prever que pequenas características arquitetônicas podem causar grandes efeitos sobre o comportamento de multidões e sobre o fluxo de pedestres, especialmente em casos de pânico (Shiwakoti *et al.*, 2014). Estar preparado para uma emergência que demande o esvaziamento de um local de reunião de pessoas com concentração exige a execução e implementação de planos de emergência a fim de que sejam traçados possíveis cenários e que os riscos sejam previstos. Nesse sentido, a arquitetura representa um importante aliado na resposta a situações de emergência, principalmente na etapa de concepção de projeto. Diante da dificuldade de realização de estudos experimentais com humanos em situações de emergência, por razões éticas e de segurança (Burd *et al.*, 2010), as simulações computacionais têm ganhado importância na resolução de projetos que visam a

segurança de multidões de pessoas.

As atuais regulamentações de segurança vigentes no país são regulamentações prescritivas e buscam definir as condições mínimas de segurança em edificações. Elas determinam aquilo que deve ser observado e de que maneira as exigências devem ser atendidas. Segundo Mattedi (2005), as regulamentações prescritivas acabam adquirindo caráter de padronização de soluções e, embora não ofereçam flexibilidade na viabilização de soluções, são utilizadas em todo o mundo. Por outro lado, soluções baseadas em desempenho, afirma o autor, podem ser aplicadas em situações complexas que, ao buscarem soluções otimizadas, exigem o desenvolvimento de estratégias inovadoras.

Para Helbing *et al.* (2002), os métodos exatos combinados com o potencial dos computadores apresentam a potencialidade de produzir resultados relevantes para a sociedade. Nesse sentido, os projetos baseados em desempenho encontram na simulação computacional um importante aliado no que se refere ao desenvolvimento de soluções inovadoras e eficazes. Embora já existam algumas tentativas de modelagem e simulação de movimento de multidões de pedestres, Shahhoseini e Sarvi (2017) consideram que pouco conhecimento tem sido produzido para a compreensão do impacto do ambiente construído e de suas características geométricas na dinâmica de multidões.

Este trabalho apresenta simulações computacionais baseadas no Modelo de Força Social, com o intuito de testar diferentes soluções projetuais, comparando a sua eficácia. Caracterizados como locais de reunião de público com concentração (IN09/2014), os projetos hipotéticos analisados neste trabalho devem seguir instruções normativas específicas, de acordo com o local onde estejam inseridos. O ambiente simulado possui área de 300 m² e diferentes desenhos de rotas de fuga, que totalizam 30 diferentes soluções projetuais. Dentre as soluções propostas, apenas duas seguem as recomendações da Instrução Normativa adotada neste trabalho e as demais são consideradas alternativas. Buscou-se, portanto, estabelecer a relação entre o fluxo de evacuação e as soluções propostas a fim de verificar a eficácia de outras soluções projetuais, chamando a atenção para os projetos baseados em desempenho. As soluções foram simuladas para velocidade de nervosismo (2,5 m/s) e os resultados demonstram que, em diversas situações, dentre as analisadas, é possível promover-se uma evacuação eficaz mesmo quando as soluções propostas são alternativas à norma prescritiva adotada como referência.

2. FUNDAMENTAÇÃO E MÉTODO DE PESQUISA

Catástrofes ocorridas em grandes concentrações de público vêm confirmando a necessidade de reavaliação de conceitos de segurança bem como de inclusão de novas maneiras de otimizar o fluxo de pedestres em edifícios e locais de evento (Illera *et al.*, 2010). Para Bernardini *et al.* (2016), a evacuação adequada de um edifício está relacionada à percepção espacial dos indivíduos e do layout arquitetônico, sendo indispensável a presença de sistemas de encaminhamento apropriados. Shiwakoti e Sarvi (2013) também destacam a importância do desenho de rotas de fuga diante das tendências globais de urbanização em massa, terrorismo, desastres naturais e tecnológicos e megaeventos. Nesse âmbito, pesquisas sobre a dinâmica de pedestres foram capazes de identificar que pequenas características arquitetônicas do entorno podem ter efeitos significativos no comportamento de multidões e no fluxo de pedestres (Burd *et al.*, 2010; Haghani e Sarvi, 2018).

Para Duives *et al.* (2013), o problema de coordenação de multidões se torna maior com o aumento da densidade de pessoas e, diante da crescente dificuldade de atuação nesse campo, os autores acreditam que os modelos de simulação se tornam importantes ferramentas de pesquisa. Duives *et al.* (2013) afirmam que o Modelo de Força Social (Helbing e Molnár, 1997) é capaz de simular todos os casos base de movimento de multidões bem como a maioria dos fenômenos de auto-organização. Segundo Helbing *et al.* (2005) esses fenômenos foram negligenciados por muito tempo, mas são essenciais para a determinação do grau de eficiência de fluxos otimizados e potenciais fontes de obstruções. O modelo de força social se fundamenta no método de modelagem de multidões fluidas (Helbing *et al.*, 2000, 2001, 2005) e parte do pressuposto de que mudanças no movimento de pedestres são guiadas por campos de força social. Ele aplica estratégias comportamentais otimizadas, ou seja, que os pedestres aprenderam ao longo do tempo e, embora seja um modelo microscópico, seus movimentos são parcialmente guiados pelo comportamento macroscópico da multidão (Duives *et al.*, 2013/09). De forma resumida, o conceito de força social está baseado na sobreposição de efeitos de atração e de repulsão, responsáveis por determinar o comportamento dos indivíduos. Modelagens baseadas nesse conceito têm sido utilizada de forma efetiva para simulações de pedestres, tanto em situações normais quanto de pânico (Shukla, 2009).

Embora a base experimental tenha melhorado a partir da disponibilidade de tecnologia de vídeos, do desenvolvimento de softwares de análise de imagens e de detectores de infravermelhos, estudos experimentais quantitativos com multidões de pedestres ainda são escassos (Helbing *et al.*, 2005). Essa escassez está diretamente relacionada à dificuldade de realização de experimentos com seres humanos, tanto por questões de segurança quanto por questões éticas. Nesse sentido, estudos baseados em simulações computacionais têm se tornado relevantes para o campo de pesquisa.

Este trabalho tem como objetivo avaliar diferentes projetos de rota de fuga buscando identificar possíveis alternativas eficazes na garantia da segurança de instalações para pedestres. Adotou-se, para esta finalidade, o software *PTV Vissim*, em seu módulo *PTV Viswalk*, que permite a utilização da abordagem de força social. O princípio básico dessa abordagem é a modelagem do ímpeto de movimentação dos pedestres de maneira semelhante à Mecânica Newtoniana, em que o parâmetro de aceleração é resultante de um somatório de forças sociais, psicológicas e físicas relacionadas ao desejo do pedestre de chegar ao seu destino (PTV, 2016). Sua configuração padrão, de potencial estático, faz com que os pedestres escolham o caminho mais curto para chegarem ao seu destino final, não havendo um modelo de rede pré-definido para as suas trajetórias.

A velocidade desejada imputada nas simulações das proposições foi de 2,50 m/s, que corresponde, segundo Helbing *et al.* (2002), a uma velocidade de caminhada de pessoas com pressa (maior que 1,5 m/s). Essa velocidade considera, portanto, a introdução de um parâmetro denominado “nervosismo” às simulações e dita a transição que ocorre entre um comportamento considerado racional e um comportamento de pânico. O que influencia forças oscilatórias, velocidades desejadas e comportamentos imitativos (Helbing *et al.*, 2002). A natureza estocástica do modelo de simulação adotado neste trabalho faz com que ocorram flutuações aleatórias capazes de influenciar os resultados obtidos para cada simulação, ou seja, há um componente aleatório que não pode ser controlado pelo pesquisador (Lima *et al.*, 2017). Por esse motivo, cada cenário avaliado foi simulado 10 vezes, calculando-se, para fins de comparação, a média dos tempos máximos de evacuação de cada um deles.

Como parâmetros de simulação utilizou-se o período total de 3.000 s, possibilitando a execução de 10 simulações consecutivas de 300 s cada; a resolução de 10 time step(s) Sim. Sec., fazendo com que o pedestre dê 10 passos por segundo de simulação; semente aleatória 42 que promove a aleatoriedade de pedestres a cada simulação; e velocidade máxima de simulação. Os intervalos de tempo utilizados foram: de 0 s a 300 s, de 300,1 a 600 s, e assim sucessivamente.

Dentre as recomendações constantes na Instrução Normativa 09/2014 (Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, 2014) utilizada para o desenvolvimento deste trabalho, doravante chamada de IN09/2014, destaca-se:

- i) Caminhamento Máximo em edificações térreas: para locais de Reunião de Público, com ou sem concentração de público, o caminhamento máximo será de 25 m, considerado do ponto mais distante até a saída de emergência; além disso, boates, clubes noturnos em geral, salões de baile, restaurantes dançantes, ou bares dançantes deverão possuir de 50 a 70% das saídas de emergência na fachada da entrada principal da edificação, com o restante das saídas de emergência localizadas em pontos distantes [...];
- ii) Dimensionamento das saídas de emergência: a largura mínima da circulação (acessos, corredores, rotas de saídas horizontais, hall) será dimensionada em função dos pavimentos que servirem [...] devendo possuir, no mínimo, 1,65 m para edificações de reunião de público com concentração de público;
- iii) A largura mínima das portas deverá satisfazer as seguintes condições: para edificações de reunião de público com concentração de público com área total construída superior a 100 m² e até 400 m², deverá haver, no mínimo, duas portas de saída, sendo que uma delas deverá ter a largura mínima de 2 m, e as demais portas complementares conforme a necessidade do dimensionamento;

A largura das saídas de emergência, ou seja, acessos, escadas, rampas e portas, é dada pela fórmula:

$$N = \frac{P}{Ca} \quad (1)$$

em que N : número de unidades de passagem (se fracionário, arredondar para mais);
 P : população;
 Ca : capacidade da unidade de passagem (IN09/2014).

A referida Instrução Normativa fixa uma unidade de passagem em 55 cm. A Tabela 1 foi adaptada do seu Anexo C (IN09/2014):

Tabela 1: Capacidade de Passagem das Saídas de Emergência

Classe de ocupação	Cálculo da população	Capacidade (n° de pessoas por unidade de passagem)			
		Corredores e Circulação	Escadas e Rampas	Portas	
Reunião de público com concentração (locais fechados).	(i) Boates, clubes noturnos em geral, salões de baile, restaurantes dançantes, bares dançantes, clubes sociais e assemelhados, circos.	2 pessoas/m ² de área bruta			
	(ii) Auditórios ou salas de reunião com mais de 100m ² , teatros, cinemas, óperas, templos religiosos sem assentos (cadeira, banco ou poltrona).	1 pessoa/m ² de área bruta	100	75	100
	(iii) Estádios, ginásios e piscinas cobertas com arquibancadas, arenas em geral.	2 pessoas/m ² de área para assistentes			

Fonte: adaptado de Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (2014)

A Tabela 2 apresenta os diferentes layouts de saída simulados neste trabalho, num total de 30. Considerando a variável “classe de ocupação” e os subgrupos (i; ii; iii) destacados nas Tabela 1, foram simulados 65 cenários.

De acordo com a classe de ocupação e com a área total do ambiente simulado (300 m²), a largura das saídas foi dimensionada seguindo a fórmula (1). Para os grupos (i) e (iii) chegou-se a 6 unidades de passagem (UP), que totalizam 330 cm; e, para o grupo (ii), 3 unidades de passagem (UP), totalizando 165 cm.

No que se refere ao conceito de desempenho citado anteriormente, ele implica, segundo Becker (1999), uma estrutura racional e ao mesmo tempo flexível a inovações e mudanças. Para a autora, ao ocorrer de forma sistemática, a aplicação desse conceito abrange a cadeia construtiva de maneira ampla, incluindo a análise e avaliação do comportamento estrutural e dos sistemas mecânicos, de incêndio, iluminação, etc. Questões relacionadas à durabilidade da edificação e a sua manutenção também são beneficiadas, diminuindo o risco de incêndio e aumentando a segurança, a facilidade de fuga e o tempo de evacuação, por exemplo. Embora já existam códigos de segurança baseados em desempenho implementados em países como Estados Unidos, Austrália e Reino Unido, trata-se de um processo que varia de acordo com as características de desenvolvimento de cada país (Moser, 2018). Para Mattedi (2005), isso também depende de investimentos em pesquisas científicas, capacitação técnica e treinamento. No que tange à segurança de multidões, destaca-se que a simulação computacional se configura como importante aliada dos projetos baseados em desempenho, especialmente no que se refere à proposição de soluções arrojadas e eficazes.

Tabela 2: Soluções projetuais analisadas

Ângulo de giro exigido na rota de fuga ¹	Soluções Projetuais					
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
	1 saída com 6 unidades de passagem	1 saída com 7 unidades de passagem	2 saídas com 3 unidades de passagem cada saída	1 saída com 3 unidades de passagem	IN09/2014 ^{2,3}	IN09/2014 ²
Grupos analisados	(i), (ii), (iii)	(i), (ii), (iii)	(i), (ii), (iii)	(ii)	(i)	(ii) e (iii)
0°						
30°						
45°						
60°						
90°						

¹ a rota de fuga representada pelo corredor não foi contabilizada no caminhamento máximo, pois compreende, para efeitos deste estudo, um espaço aberto, a exemplo de uma passarela de saída.

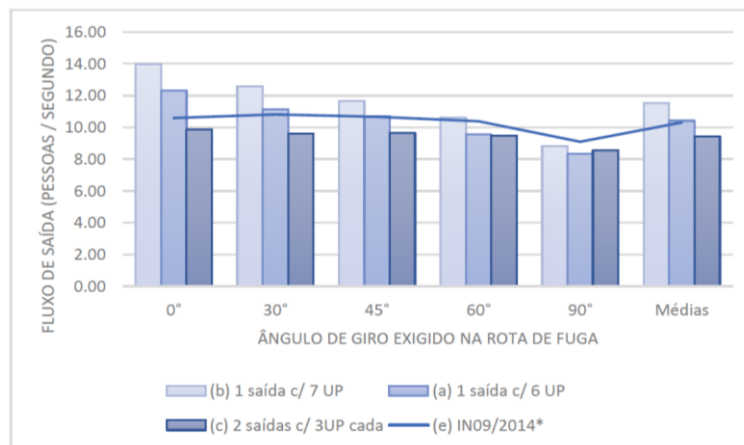
² no mínimo duas portas de saída, sendo que uma delas deverá ter a largura mínima de 2 m e as demais portas complementares conforme a necessidade do dimensionamento.

³ deverão possuir de 50 a 70% das saídas de emergência na fachada da entrada principal da edificação, com o restante das saídas de emergência localizadas em pontos distantes.

Na Tabela 2, as soluções (e) e (f) são as únicas que satisfazem as recomendações da IN09/2014. As demais soluções são consideradas alternativas à norma e foram testadas a fim de verificar a sua eficácia.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta os resultados obtidos nas simulações realizadas com 600 pessoas a partir das diferentes soluções projetuais apresentadas na Tabela 2. Os resultados exibidos na forma de linha correspondem à solução (e), que atende às recomendações da IN09/2014. E os resultados exibidos na forma de barra correspondem às demais soluções testadas. Quanto maior o fluxo de saída, mais eficaz é considerada a evacuação.

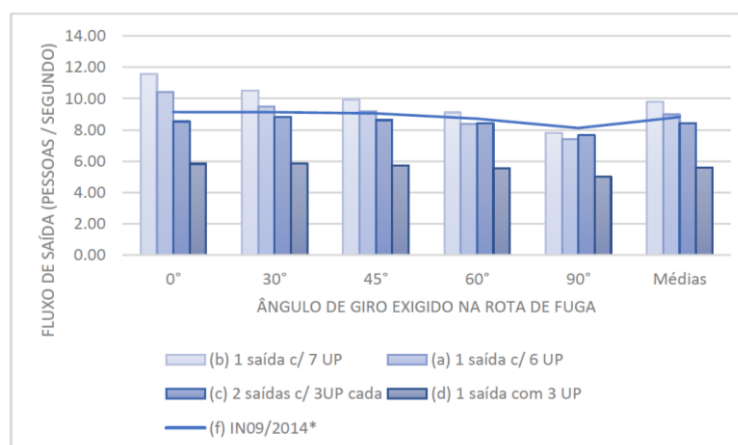


* Duas saídas de emergência, sendo uma delas com 2 m e a outra com 1,65 m. Além disso, 50 a 70% das saídas de emergência devem estar dispostas na fachada da entrada principal da edificação e o restante em pontos distantes.

Figura 1: Simulação do Grupo (i) com 600 pessoas

Vê-se, na Figura 1, que há alguma regularidade na relação entre o ângulo de giro exigido pela rota de fuga e a quantidade e distribuição das saídas existentes. Com o aumento do ângulo de giro, no entanto, especialmente no ângulo de 90°, vê-se a inversão da eficácia entre as soluções com 1 (a) e com 2 saídas (c), ambas com um total de 6 unidades de passagem. Os valores médios apresentados englobam todos os ângulos simulados, totalizando 50 simulações para cada solução projetual. A Figura 1 indica que há alternativas projetuais mais eficazes que aquela que segue as recomendações da IN09/2014, exceto para o ângulo de 90°. Destaca-se, em especial, a solução (b) com uma saída única e largura total de 7 unidades de passagem (385 cm), cuja eficácia mostrou-se até 31,93% maior no caso da rota de fuga em linha reta, ou seja, com ângulo de giro igual a 0°.

A Figura 2 apresenta os resultados obtidos nas simulações realizadas com 300 pessoas, correspondentes ao Grupo (ii) descrito na Tabela 1. Os resultados exibidos na forma de linha correspondem à solução (f), que atende às recomendações da IN09/2014; e os resultados exibidos na forma de barra correspondem às demais soluções testadas.



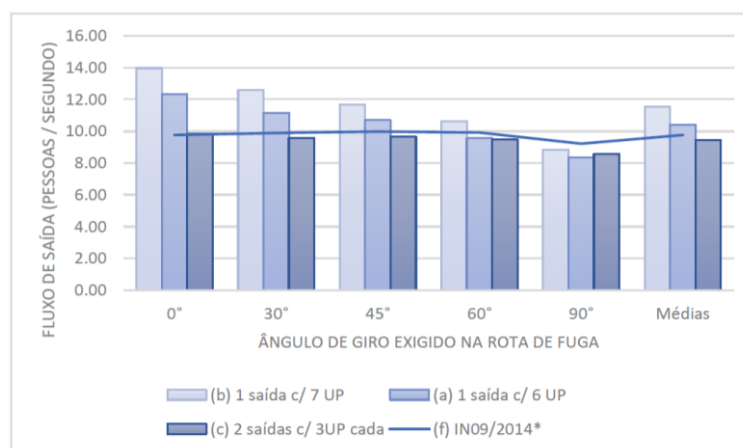
* Duas saídas de emergência, sendo uma delas com 2 m e a outra com 1,65 m. Não há exigência de que as saídas estejam dispostas em paredes distantes.

Figura 2: Simulação do Grupo (ii) com 300 pessoas

Também é possível observar, na Figura 2, que a eficácia das soluções projetuais se modifica com o aumento do ângulo de giro exigido pela rota de fuga. A solução (c), com duas saídas de emergência (3 UP cada), passa a ser mais eficaz que a solução (a), com uma única saída (6 UP), a partir dos 60°. A solução (d), com uma única saída de emergência (3 UP), apresentou resultado 36,66% menor que a solução (f), que segue as recomendações da IN09/2014. Embora em ambas as soluções a capacidade da porta e do corredor atendam ao número previsto de pessoas, com base no cálculo da população, a quantidade de saídas existente na solução (d) é 50% menor que a exigida. Os valores médios apresentados também desconsideram a variável “ângulo de giro”.

Ainda no que se refere à Figura 2, ela aponta algumas soluções projetuais mais eficazes que aquela que segue as recomendações da IN09/2014, destacando-se a solução (b), com uma única saída (7 unidades de passagem). A eficácia chega a ser 26,71% maior no caso da rota de fuga em linha reta (ângulo de giro de 0°). Destaca-se, no entanto, que para a solução projetual que exigia ângulo de giro igual a 90°, a alternativa mais eficaz foi aquela que seguiu as recomendações da referida IN, ou seja, a solução (f).

A Figura 3 apresenta os resultados obtidos nas simulações realizadas com 600 pessoas, correspondente ao Grupo (iii), que se difere do Grupo (i) pela não exigência de saídas localizadas em paredes distantes. Os resultados exibidos na forma de linha correspondem à solução que atende às recomendações da IN09/2014. E os resultados exibidos na forma de barra correspondem às demais soluções testadas.



* Duas saídas de emergência, sendo uma delas com 2 m e a outra com 1,65 m. Não há exigência de que as saídas estejam dispostas em paredes distantes.

Figura 3: Simulação do Grupo (iii) com 600 pessoas

Tal qual os resultados apresentados nas Figuras 1 e 2, vê-se novamente que a presença de duas saídas de emergência (com 3 UP cada), solução (c), ganha eficácia em relação à solução (a), com uma única saída (com 6 UP), quando o ângulo de giro exigido é maior, especialmente no ângulo de 90°. Os valores médios apresentados não consideram a variável “ângulo de giro” e foram obtidos a partir das médias de todos os ângulos testados. A Figura 3 demonstra que para as soluções projetuais com ângulo de giro até 60°, há alternativas mais eficazes que aquela que segue as recomendações da IN09/2014, especialmente a solução (b), com uma saída com 7 unidades de passagem, que chegou a ser 30,12% mais eficaz quando considerada a solução com rota de fuga em linha reta (ângulo de 0°). No entanto, para a solução projetual com ângulo de giro de 90°, a alternativa mais eficaz foi a solução (f), ou seja, aquela que seguiu as recomendações da referida IN.

A Figura 4 apresenta uma sequência de imagens da simulação do cenário (b), referente ao Grupo (i), com ângulo de giro de 0° . Este cenário conta com uma única saída, com 7 unidades de passagem, sendo aquele que apresentou os melhores resultados dentre todas as soluções propostas, exceto quando o ângulo de giro exigido era igual a 90° .

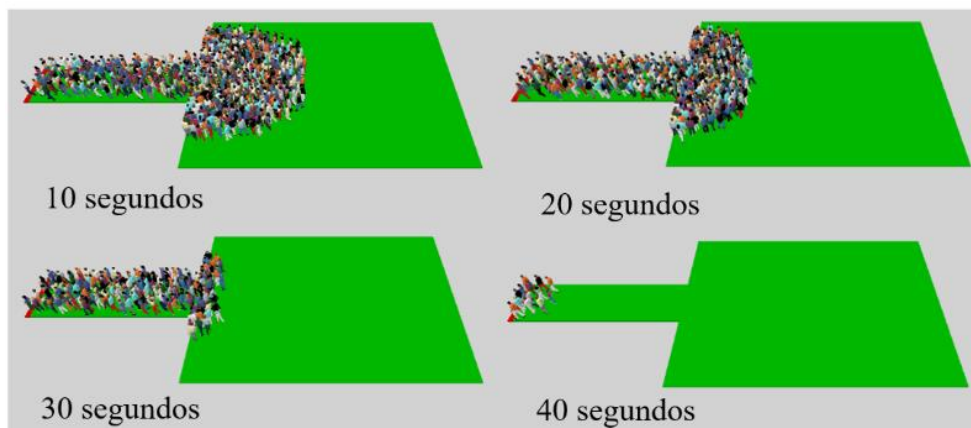


Figura 4: Sequência de imagens da simulação do cenário (b) com ângulo de 0°

A Figura 5 apresenta uma sequência de imagens da simulação do cenário (e), referente ao Grupo (i), com ângulo de giro de 90° . Essa solução, juntamente com a solução (f), referente aos Grupos (ii) e (iii), foi a que apresentou os melhores resultados nos cenários analisados com ângulo de giro igual a 90° .

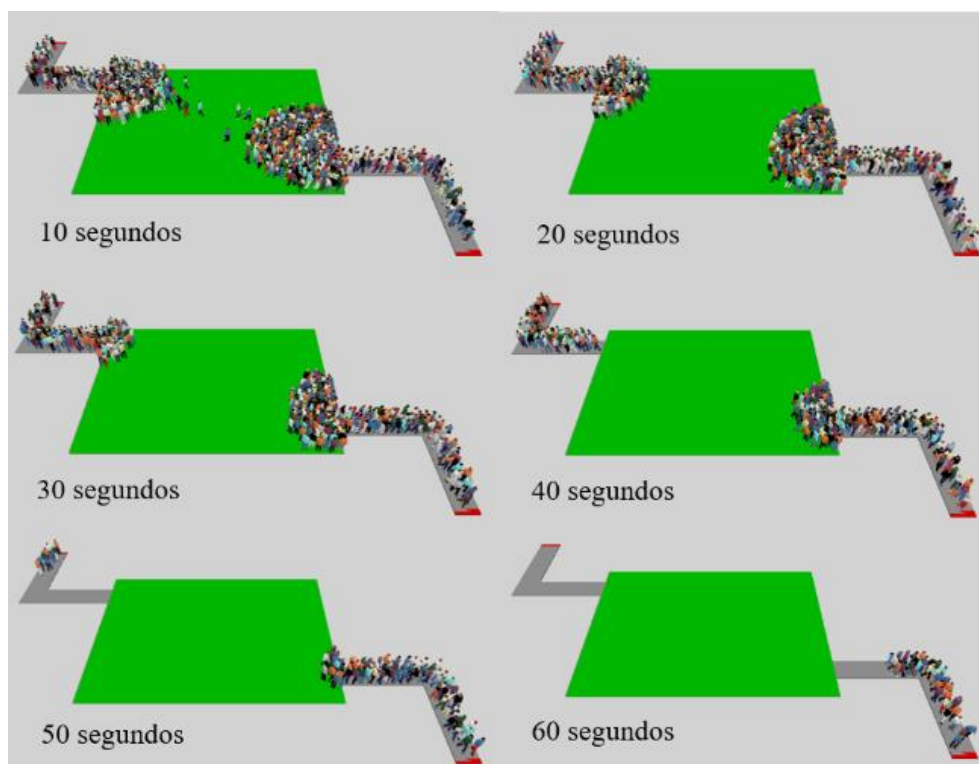


Figura 5: Sequência de imagens da simulação do cenário (e) com ângulo de 90°

Observando-se a sequência de imagens apresentadas nas Figuras 4 e 5 percebe-se o incremento no tempo de evacuação de 600 pessoas quando a rota de fuga exige da multidão um acentuado

ângulo de giro. Importa destacar que a rota de fuga representada pelo corredor de saída apresenta, em todos os cenários, caminhamento igual a 12,64 m.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho simulou 65 cenários, tendo como variáveis diferentes soluções projetuais, ângulos de giro e densidades de pessoas. Os 65 cenários analisados somaram 650 simulações, cujos resultados foram apresentados na forma de valores médios, adotando-se, para tanto, o máximo tempo de evacuação obtido em cada uma das simulações. Para cada grupo (classe de ocupação) analisado, uma das soluções propostas atendia às recomendações da IN09/2014 (Corpo de Bombeiros Militar De Santa Catarina, 2014) e as demais conformavam proposições alternativas. Buscou-se, assim, identificar e comprovar a existência de outras soluções, não previstas na instrução normativa utilizada como referência neste trabalho, chamando a atenção para os benefícios que podem ser alcançados com o desenvolvimento de projetos baseados em desempenho. Os resultados encontrados apontam que 49% das soluções propostas mostraram-se mais eficazes do que a solução baseada na referida IN. Destaca-se ainda a importância da simulação computacional desde a fase inicial de desenvolvimento de um projeto destinado à reunião de público com concentração.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 – 88887.091740/2014-01 – Projeto PROALERTAS. Os autores também agradecem ao Grupo PTV, pela licença acadêmica cedida do software PTV Viswalk.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Burd, M.; N. Shiwakoti; M. Sarvi e G. Rose (2010) Nest architecture and traffic flow: large potential effects from small structural features. *Ecological Entomology*, v. 35, p. 464-468.
- Corpo de Bombeiros Militar De Santa Catarina (2014) *Instrução Normativa nº 9 – Sistema de Saídas de Emergência*, Florianópolis, Santa Catarina, 46 p.
- Duives, D.; W. Daamen e S. Hoogendoorn (2013) State-of-the-Art Crowd Motion Simulation Models. *Transportation Research Part C*, v.37, p. 193–209.
- Haghani, M. e M. Sarvi (2018) Crowd behaviour and motion: Empirical methods. *Transportation Research Part B: Methodological*, v. 107, p. 253-294.
- Helbing D. e P. Molnár. (1997) Self-Organization Phenomena in Pedestrian Crowds. In: Schweitzer, F. (eds.) *Self-Organization of Complex Structures: From Individual to Collective Dynamics*, p. 569–577. Gordon and Breach, London.
- Helbing, D.; I. Farkas e T. Vicsek (2000) Simulating Dynamical Features of Escape Panic. *Nature*, v. 407, p. 487–490.
- Helbing, D.; I. Farkas e T. Vicsek (2002) Crowd Disasters and Simulation of Panic Situations. In: Bunde, A.; J. Kropp e H. J. Schellnhuber (eds) *The Science of Disasters: Climate Disruptions, Heart Attacks, and Market Crashes*. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 331-350.
- Helbing, D.; I. Farkas; P. Molnár; T. Vicsek; M. Schreckenberg e S. Sharm (2002) Simulation of Pedestrian Crowds in Normal and Evacuation Situations. In: *Pedestrian and Evacuation Dynamics*, p. 21–58. Springer, Berlin, Germany.
- Helbing, D.; L. Buzna; A. Johansson e T. Werner (2005) Self-Organized Pedestrian Crowd Dynamics: Experiments, Simulations, and Design Solutions. *Transportation Science*, v. 39, n.1, p. 1–24.
- Helbing, D.; P. Molnár; I. Farkas e K. Bolay (2001) Self-Organizing Pedestrian Movement. *Environment and Planning B*, v. 28, n. 3, p. 361–383.
- Illera, C.; M. Fink; H. Hinneberg; K. Kath; N. Waldau; A. Rosic e G. Wurzer (2010) No panic. Escape and Panic in Buildings—Architectural Basic Research in the Context of Security and Safety Research. In: Klingsch, W.; C. Rogsch; A. Schadschneider; M. Schreckenberg (eds.) *Pedestrian and Evacuation, Dynamics*, p. 733–742. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Lima, F.; D. Oliveira e M. Samed (2017) Simulação e Cenários como Preparação para Desastres. In: Leiras, A.; H. Yoshizaki, M. Samed e M. Gonçalves (orgs). *Logística Humanitária*. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017, p. 251-272.

- Mattedi, D. L. (2005) *Uma contribuição ao estudo do processo de projeto de segurança contra incêndio baseado em desempenho*. Dissertação – UFOP, Ouro Preto, Minas Gerais, 228 p.
- Moser, I. R. (2018) Evacuação segura de pessoas em incêndios em edifícios e áreas com interesse histórico. Dissertação. UFSC– Florianópolis, Santa Catarina, 236 p.
- Moussaïd, M.; D. Helbing e G. Theraulaz (2011) How Simple Rules Determine Pedestrian Behavior and Crowd Disasters. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 108, n. 17, p. 6884–6888.
- PTV, Planung Transport Verkehr ag. (2016) *PTV Vissim 9 User's Manual*. Karlsruhe: PTV AG, 2016.
- Shahhoseini, Z. e M. Sarvi (2017) Collective movements of pedestrians: How we can learn from simple experiments with non-human (ant) crowds, *PLoS ONE*, v. 12, n. 8, p. 1-20.
- Shiwakoti, N. e M. Sarvi (2013) Enhancing the Panic Escape of Crowd Through Architectural Design. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, v. 37, p. 260–267.
- Shiwakoti, N.; M. Sarvi e M. Burd (2014) Using non-human biological entities to understand pedestrian crowd behaviour under emergency conditions. *Safety Science*, v. 66, p.1-8.
- Shiwakoti, N.; M. Sarvi; G. Rose e M. Burd (2009) Enhancing the safety of pedestrians during emergency egress: can we learn from biological entities? *Transp. Res. Rec.*, v. 2137, p.31–37.
- Shukla, P. (2009) Genetically Optimized Architectural Designs for Control of Pedestrian Crowds. In: Korb, K.; M. Randall; T. Hendtlass (eds.) *Artificial Life: Borrowing from Biology*. ACAL (2009). Lecture Notes in Computer Science, v. 5865, p. 22-31. Springer, Berlin, Heidelberg.

Manuela Marques Lalane Nappi (lalppi.ms@gmail.com)

João Carlos Souza (joao.carlos@ufsc.br)

Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina

R. Eng. Agrônomo Andrei Cristian Ferreira, s/n - Trindade, Florianópolis - SC, Brasil.