

Simulação de Emergência: Modelo para Evacuação em Locais de Grande Público

Emergency simulation: model for evacuation in large public places

Rogério Fernandes da Costa* Paulo Cesar Pinheiro**

Informações do artigo

Recebido em: 05/09/2017

Aprovado em: 23/11/2017

Palavras-chave

Logística humanitária.
Modelagem de sistemas complexos.
Simulação de emergência.

Keywords:

Humanitarian Logistics.
Complex Systems Modeling.
Emergency Simulation.

Autores

* Especialista em Gestão de Banco de Dados pelo Centro Universitário de Araquara e MBA em Gestão de Projetos pelo Centro Universitário de Santo André
e-mail: rogeriocosta@fainam.edu.br

** Mestre em Administração de Empresas pelo Centro Universitário Alvaro Penteado
e-mail: paulo.cpinheiro@uniesp.edu.br

Como citar este artigo:

COSTA, R. F.; PINHEIRO, P. C. Simulação de Emergência: Modelo para Evacuação em Locais de Grande Público. *Competência*, Porto Alegre, v. 11, n. 1, Jul. 2018.

Resumo

A evacuação em casas de show, salas de cinema, teatros e estádios envolve um alto grau de complexidade, por isso, merece uma atenção especial. Estudos nessa área devem levar em conta que a evacuação em locais de grande público está sujeita a restrições temporais, físicas e comportamentais. Portanto, quando comparados às simulações em situações reais, que são caras e de difícil execução, os modelos computacionais despontam como uma alternativa viável. No presente estudo, objetivou-se a criação de um modelo conceitual para evacuação em locais de grande público, cuja metodologia mista foi orientada a partir do conceito de múltiplos agentes e da analogia do fluxo de fluidos. Tendo em vista que o tempo é um fator determinante para minimizar danos e perdas mais graves em casos de emergência, busca-se oferecer orientações práticas que possibilitem a criação de um software para auxiliar os tomadores de decisão e os futuros projetos de empreendimentos destinados a receber grandes públicos.

Abstract

Evacuation in concert halls, movie theaters, theaters and stadiums involves a high degree of complexity, so it deserves special attention. Studies in this area should take into account that evacuation in large public places is subject to temporal, physical and behavioral restrictions. Therefore, when compared to simulations in real situations, which are expensive and difficult to execute, computational models emerge as a viable alternative. In the present study, the objective was to create a conceptual model for evacuation in public places, its mixed methodology was oriented from the concept of multiple agents and the fluid flow analogy. Given that time is a determining factor to minimize damages and losses in emergency situations, it is intended to offer practical guidelines that allow the creation of software, assisting decision makers and future projects aimed at receiving large audiences

1 Introdução

Pesquisas sobre comportamento humano nas multidões são, antes de tudo, estudos sobre transporte. Integram conhecimentos de diferentes áreas e, na maioria das vezes, buscam analisar o impacto do comportamento coletivo no deslocamento de pedestres. De acordo com [Furtado et al. \(2015\)](#), ao considerar a interação de um grande número de agentes independentes, a modelagem em transportes permite analisar processos urbanos de mobilidade.

No contexto da logística humanitária, ainda existe uma lacuna na modelagem voltada para a evacuação de multidões. O debate em torno da dinâmica dessa ação precisa levar em conta os comportamentos emergentes ou o de auto-organização. De acordo com certos critérios, podemos analisar como os fenômenos emergentes interferem no comportamento dos agentes, provocando mudanças nos componentes internos do sistema ([GILBERT; TERNA, 2000](#)).

Tal discussão se faz necessária à medida que o comportamento coletivo está sujeito à influência da entropia ou da incerteza da informação, sendo esse um fator limitante e potencialmente desastroso. Da mesma forma, dada a dificuldade em se estabelecer uma métrica que represente a transição de um estado de normalidade para um estado de pânico, desenvolver um modelo simplificado e com maior precisão configura-se um grande desafio.

Buscando facilitar a compreensão sobre as tendências gerais de comportamento na circulação dos pedestres e os possíveis fluxos de deslocamento em situações de evacuações de multidões, a pesquisa em questão não tem como objetivo a criação de *software*, limitando-se ao desenvolvimento de um modelo conceitual para o fenômeno de pânico em locais com grande aglomeração.

Inicialmente, neste artigo, correlacionam-se os conceitos de comportamentos emergentes, processos de tomada de decisão e situações de emergência; na sequência, a partir da análise das principais características de modelagem comportamental, os sistemas multiagentes são contextualizados, e um modelo teórico é proposto. Por fim, apresentam-se as considerações finais, e as limitações e as direções para futuras pesquisas são apresentadas.

Simulações sobre evacuação de multidões podem contribuir de forma significativa para a realização de previsões com foco na redução do tempo, sendo esse um fator determinante para minimizar danos e perdas mais graves em casos de emergência.

2 Revisão da literatura

O comportamento humano é um fenômeno complexo; sua análise pode ocorrer a partir de três focos distintos: no indivíduo, nas interações entre os indivíduos dentro de um determinado grupo e nas dos grupos em uma sociedade. Ao longo dos anos, diversos autores vêm se dedicando a uma vertente desses estudos: o comportamento humano em multidões.

Na literatura, é bastante difundido o conceito de “lutar ou fugir”, segundo o qual os seres humanos, quando expostos às situações de medo ou estresse extremo, irão enfrentar a situação diretamente ou tomar uma ação evasiva. Essa intenção individual ou coletiva pode gerar competição pelo espaço ou efeito manada (*rational herding*), culminando com as pessoas empurrando, batendo e pisoteando umas as outras ([HELBING et al., 2000](#)).

Conhecer as tendências gerais de comportamento na circulação dos pedestres é fundamental para planejar e conceber instalações orientadas para esse público, principalmente em locais com grande aglomeração. Visão semelhante é compartilhada por [Bryan \(1993\)](#) e [Proulx e Richardson \(2002\)](#), para quem o projeto de sistemas eficientes voltados para segurança contra incêndio depende, em grande parte, de uma melhor compreensão sobre os comportamentos humanos e sociais.

Não obstante, devido à percepção do risco ser baseada em características qualitativas e não nas quantitativas, temos a tendência de acreditar que tudo está bem, porque, antes daquele momento, quase sempre a situação esteve realmente bem ([RIPLEY, 2008](#)).

Em relação a esse tema de estudo, chama a atenção o fato de o surgimento de comportamentos incoerentes com as situações de emergência não ser algo incomum. Isso pode ser explicado parcialmente em virtude do comportamento coletivo ocorrer sob o comando de normas emergentes. Dessa forma, rumores ou movimentos entre as multidões promovem o surgimento de novas normas ou modificam as normas existentes, podendo levar a massa a tomar decisões irracionais, incoerentes ou erradas ([TURNER; KILLIAN, 1957](#); [GOMES DE JESUS, 2013](#)).

Ao considerar a influência das variáveis exógenas, isto é, o processo de mobilização das massas a partir de estímulos externos, ou, ainda, das forças endógenas, decorrentes da interação entre os diferentes agentes em um determinado ambiente, podemos propor modelos para dinâmica de multidões sob a ótica da análise do comportamento emergente.

Em outras palavras, comportamentos emergentes podem envolver desde uma simples resposta a estímulos externos até abordagens deliberativas, em que o agente poderá tomar uma

decisão por iniciativa própria, orientada por seus objetivos, ou, ainda, baseada em informações disponíveis, conhecimento prévio ou recém-adquirido. Vale ressaltar que a percepção de risco é mais ou menos previsível por um grupo social ou por um indivíduo que tenha sido exposto a ele (VEYRET, 2007).

A relevância de estudos nesta área reside na possibilidade de ajudar na concepção de novos espaços destinados a grandes públicos. Ao adequar as instalações às condições necessárias de acessibilidade e segurança para o público, facilitamos os procedimentos de entrada em recintos com grande circulação de pessoas e, em caso de emergência, realizamos o esvaziamento de forma rápida e segura.

3 Modelagem comportamental

Enquanto a sociologia lida com o comportamento social organizado e institucionalizado, em situações de medo ou estresse extremo (decorrentes de emergências ou desastres, por exemplo), é comum a ocorrência de comportamentos não institucionalizados. Sendo assim, a incerteza é um fator relevante no contexto das simulações envolvendo logística humanitária.

Na tentativa de criar um modelo que representasse o comportamento coletivo no deslocamento de pedestres, Helbing e Molnár (1995) criaram o modelo de “forças sociais”. Nesse estudo, os autores são enfáticos ao afirmar que a movimentação de um pedestre está sujeita às forças exercidas pelo comportamento coletivo em um determinado ambiente. Dessa forma, podemos inferir que os comportamentos mais complexos – como competição pelo espaço, cooperação ou agrupamento – podem emergir como diferentes respostas ao mesmo estímulo.

No processo de modelagem de situações de emergência, as propriedades e os comportamentos que constituem a estrutura do agente no mundo real nem sempre estão claras. Neste contexto, Fehler et al. (2004) ressaltam que, em virtude dos grandes espaços de busca de parâmetros, dos longos tempos de execução das simulações e dos diferentes níveis de observação, a calibração de modelos baseados em agentes apresenta grandes problemas para as técnicas de calibração padrão.

Em abordagem distinta, Windrum et al. (2007) descrevem uma metodologia composta de três alternativas fundamentadas em agentes para calibrar e validar empiricamente modelos baseados em agentes. De fato, através de simulação, busca-se a construção de um modelo que seja capaz de imitar as características operacionais e dinâmicas de um sistema real, permitindo o estudo e a compreensão desse sistema dentro de um contexto isolado e controlado (FREITAS FILHO, 2008).

Simulações são amplamente utilizadas na logística para a análise de problemas complexos; o modelo denominado UrbanSim é um exemplo disso. Ao combinar a dinâmica da cidade (considerada como densidade e uso da terra) com a dinâmica de passageiros, mostrou-se um exemplo pioneiro (BORNING et al., 2008). Para alguns estudiosos mais entusiastas, de uma forma geral, as simulações podem ser consideradas uma terceira possibilidade de se fazer ciência, junto com a indução e a dedução (AXELROD, 1998).

No que diz respeito à logística humanitária, modelos multiagentes podem ser usados para simular a interação entre os diversos agentes do setor de construção, transporte e emergência (EDRISSI et al., 2013). O que distingue um modelo de simulação tradicional de um modelo de simulação multiagentes é a possibilidade de observar o comportamento global do sistema modelado.

4 Metodologia

O escopo desta pesquisa não contempla o desenvolvimento de um *software*; ele será desenvolvido posteriormente. A partir do modelo proposto, um algoritmo de simulação poderá ser implementado, usando uma linguagem típica de programação, tal qual C++ e Java, ou, ainda, através de programas estatísticos tradicionais como o Matlab por exemplo. De acordo com Downey, (2012), McKinney (2012) e North et al. (2006), a linguagem de alto nível Python também tem sido bastante usada para simulação e modelagem devido à sua flexibilidade.

Para formulação do modelo proposto, neste estudo foram adotadas duas abordagens distintas:

1. Sistemas multiagentes: para entender como ocorre a interação e o surgimento de fenômenos emergentes em aglomerações de pedestres.
2. Analogia com o fluxo de fluido: para estabelecer a relação entre velocidade e densidade de pedestres, ou entre fluxo e densidade de pedestres.

De um modo geral, a maioria dos modelos existentes pode ser categorizada em fluidos ou sistemas de partículas, sistemas baseados em matriz e sistemas multiagentes. A utilização de modelos para analisar sistemas complexos é uma prática comum, pois tende a representar o sistema estudado de uma forma simplificada (ALTIOK; MELAMED, 2010).

Levando em conta as variáveis relevantes em um ambiente real, a implementação do modelo proposto deverá permitir a inserção de informações sobre as dimensões da instalação, o fluxo e a densidade dos pedestres em um determinado local, o nível

de pânico das pessoas (abrangendo diferentes escalas), o número de entradas e saídas etc. Nessa abordagem, os agentes poderão tomar decisões com base nas características do ambiente. Além disso, de forma a decidir em cada instante qual a melhor ação a executar, um agente poderá ser modelado de acordo com a arquitetura reativa, deliberativa ou híbrida, tendo conhecimento e capacidade de raciocinar baseado no seu conhecimento.

O fluxo de pedestres em geral é expresso no sistema internacional de unidade (SI) em *ped/m/s*. Segundo a analogia de escoamento de fluidos adotada na hidrodinâmica, o fluxo corresponde à vazão de um fluido dentro de um duto. Dessa forma, podemos representar o fluxo de pedestres através da seguinte fórmula:

$q(x) = \frac{n(x)}{t}$, onde o fluxo de pedestres q é representado pela quantidade de $n(x)$ pedestres que cruzam uma seção durante um intervalo de tempo t .

A concentração de pessoas também pode ser medida usando analogia à hidrologia, dada a correspondência entre concentração e densidade de fluido. Por isso mesmo, a concentração de pessoas por metro quadrado também é chamada de densidade relativa. Tendo a variável p para representar o número de pedestres por unidade de área, a concentração é dada pela expressão:

$q(x) = \frac{n(x)}{t}$, onde, em um determinado instante t , é possível contar os n pedestres por metro quadrado.

No estudo dos pedestres, a velocidade é adotada como a média de todas as velocidades dos pedestres que passam por um local em um determinado intervalo de tempo. Normalmente é expressa no SI em m/s e denotada por u .

$$u = \frac{q}{p}$$

A equação fundamental do tráfego, como ficou conhecida pelos operadores logísticos, é a junção dessas três variáveis (fluxo, densidade relativa e velocidade); ela também é bastante utilizada para medir o fluxo de pedestres.

$$q(t,x)=u(t,x)p(tx)$$

Devido à impossibilidade física de se alocar um número maior do que seis pessoas por metro quadrado, de acordo com Vargas et al. (2012), a teoria para o fluxo de pedestres é expressa por:

$$p \leq 6 \text{ ped/m}^2$$

Contudo, sabe-se que a velocidade de fuga dos indivíduos diminui com o aumento da sua densidade, de forma proporcio-

nal, portanto, ao considerar 4 ped/m², inibimos a liberdade de locomoção. A velocidade média padrão em um ambiente sem obstáculos é de 1,19 m/s e tende a zero quando a densidade é maior que 3,8 pessoas/m² (NELSON; MOWRER, 2002).

A condição de pânico é outro fator relevante relacionado à locomoção. Nesses casos, o aumento da velocidade de movimento pode gerar a ocorrência do aprisionamento de indivíduos contra as paredes ou bloqueio das saídas, sendo essas as principais consequências do chamado “efeito de arco”. Nos últimos anos, grandes tragédias foram registradas; entre elas, o ataque em Nova York às torres gêmeas, no ano de 2001, e o incêndio na boate Kiss, na cidade de Santa Maria (RS), em 2013. Em ambos os casos, a tragédia foi potencializada por falhas nos projetos das instalações.

No caso da boate Kiss, em particular, a falta de observância dos procedimentos de segurança adequados atuou como um catalisador da tragédia. Além de não dispor de *sprinklers* (chuveiros automáticos), a instalação física não contava com saídas emergenciais. No local, outro fator ia de encontro com a legislação, isso foi constatado a partir dos relatos dos sobreviventes. Informações coletadas a partir desses relatos atestam que, se um sistema de iluminação de emergência existia, ele não funcionou. Esses requisitos são amplamente divulgados pelo *Código de Proteção da Vida*, no NFPA 101 (*National Fire Protection Association*), e compartilhados pelo Corpo de Bombeiros.

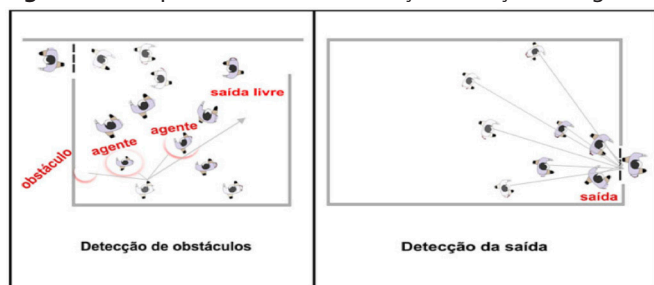
As portas são os elementos mais importantes para evacuação; por isso, é importante que se forneça, nos recintos de grande aglomeração de pessoas, circulações de saída capazes de comportar, de forma segura, a passagem das pessoas dentro de um período de tempo aceitável. De acordo com dados fornecidos pela Instrução Técnica 012/2010 do Corpo de Bombeiros, a largura dimensionada para o abandono seguro da população do recinto nunca deverá ser inferior a 1,20 m. Para efeito de cálculo, considera-se a passagem de cem pessoas por minuto para uma largura de 1,20 m.

A iluminação de emergência é outro elemento importante para os meios de evacuações. De acordo com o artigo 7.9.3 da NFPA 101, os sistemas de iluminação de emergência devem ser submetidos a testes funcionais periódicos, e sua iluminação não deve ser inferior a 11 lux na superfície do piso.

No modelo proposto, os parâmetros responsáveis pelos comportamentos de locomoção deverão ser controlados diretamente pelos atuadores de cada agente, correspondendo aos comportamentos mais simples que cada um pode realizar, ou seja, andar para frente, correr para frente, parar, virar, andar para trás e correr para trás. Para escolher um tipo de locomoção em um momento específico, os passos poderão ser determinados por uma regra de decisão aleatória.

Seguindo essa mecânica, se um agente detectar uma saída à sua frente que não possua nenhum obstáculo impedindo a sua passagem, então ele escolhe andar para frente. No entanto, se o agente é bloqueado por uma multidão, ele pode escolher aleatoriamente entre parar (evitando a colisão), girar (tentando um caminho diferente), ou mover-se para trás (mantendo seu espaço pessoal de locomoção). Na Figura 1, essa mecânica é exemplificada.

Figura 1 – Comportamentos de locomoção e direção dos agentes



Os comportamentos descritos acima servem apenas como referência para a criação dos blocos básicos, que representam as estruturas elementares de controle que serão utilizadas para a construção de comportamentos mais complexos. Para simular padrões comportamentais realistas, devemos levar em conta que raramente os agentes executam o mesmo comportamento de direção. Os padrões podem variar dependendo da situação.

A partir da definição de cenários, esse modelo baseado em agentes poderá gerar resultados com aplicação prática, permitindo que seus usuários observem o comportamento individual ou coletivo (por meio de interpretação qualitativa ou quantitativa). O modelo proposto tem potencial para ser utilizado tanto no dimensionamento de instalações voltadas para o entretenimento como de salas de cinema e teatro, por exemplo, quanto em simulações de evacuação, envolvendo esses mesmos ambientes.

A generalização das regras do modelo poderá ser definida e automatizada através de motor de transformação. Assim, seria possível atribuir papéis para os agentes (policia, bombeiro, primeiros socorros, pessoa a ser evacuada etc.). Dessa forma, o nível de observação se tornaria dinâmico, tendo a possibilidade de um mesmo agente desempenhar o mesmo papel em um ou vários grupos, bem como, o mesmo papel poder ser desempenhado por vários agentes.

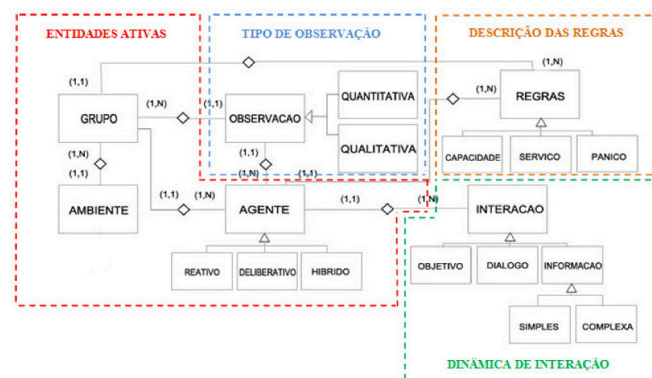
A aplicação de regras comportamentais é outro fator importante para a dinâmica de observação. Para que o sistema simule situações reais, as regras comportamentais não devem se restringir ao conhecimento prévio do agente. As inferências deverão ser guiadas por critérios de evolução do conhecimento, podendo ocorrer a partir da interação, ou seja, em virtude da troca de informações entre os agentes, ou, ainda, a partir de estímulos externos.

Tendo em mente que, durante o processo de comunicação, os agentes estão “competindo uns com os outros”, devemos considerar isso como um possível fator de orientação do seu comportamento. Nesse caso, ao perceberem mudanças no ambiente, os agentes podem apresentar uma mistura de diferentes padrões de comportamentos, alternado sua locomoção e direção.

O comportamento humano nas multidões é um fenômeno complexo; ele emerge a partir das interações entre um grupo de agentes autônomos. Tendo como premissa que o comportamento de um único agente é essencialmente não determinista em um nível microscópico; se o sistema for executado várias vezes com a mesma configuração inicial, os agentes não se comportariam exatamente da mesma maneira.

Na Figura 2, o modelo teórico é apresentado. Sua representação no nível conceitual busca facilitar a compreensão da complexidade do problema e seus objetivos de simulação, reduzindo, assim, a possibilidade de falhas na implementação do modelo.

Figura 2: Modelo proposto



No tocante à generalização de regras do modelo, há que se considerar a necessidade de estratégias alternativas de evacuação. Quando aliados à presença de pânico em um ambiente, fatores como a idade e o comportamento dos ocupantes interferem tanto no modo de agir quanto na capacidade de movimentação dos indivíduos. Essas características podem se mostrar mais relevantes em situações envolvendo o deslocamento de pessoas com dificuldade de locomoção, portadores de algum tipo de deficiência física (temporária ou permanente), mulheres grávidas, crianças, pessoas idosas, pessoas obesas, pessoas de baixa estatura, entre outras.

5 Considerações finais

Tendo como enfoque a abordagem de sistemas complexos, neste estudo, o processo de modelagem adotado foi orientado através do conceito de múltiplos agentes e da analogia do fluxo de fluidos.

Aglomerções humanas e engarrafamentos são fenômenos da atualidade originados a partir de três variáveis originais: fluxo, concentração e velocidade. Sendo assim, informações coletadas a partir dessas variáveis básicas fornecem uma ampla visão, favorecendo presumir medidas de eficiência para avaliar e ajudar o desempenho do sistema como um todo.

A discussão sobre circulação de pedestres é apropriada para o ambiente logístico do setor humanitário, objetivando o bem-estar dos usuários de instalações físicas e, na medida do possível, minimizar os possíveis impactos ocasionados pelas rápidas mudanças no comportamento de locomoção de pedestres em ambientes coletivos.

De forma análoga à maioria das outras experiências de modelagem, a modelagem para evacuação em locais de grande público pode ajudar tomadores de decisão a descreverem cenários nos quais os principais parâmetros de ajuste são baseados em fatos observados do mundo real. Dessa forma, as consequências e efeitos em situações de emergências e desastres podem ser medidos de forma objetiva.

Ainda que essas ferramentas não sejam capazes de identificar os fluxos de forma exata, elas permitem realizar boas previsões, contribuindo de forma efetiva para o dimensionamento do *layout* e do arranjo físico das instalações. Portanto, sugere-se que estudos futuros envolvendo o desenvolvimento de *softwares* e jogos digitais poderiam ser suplementares ao modelo proposto, proporcionando procedimentos de resposta a diferentes tipos de situação e cenários.

Referências

- ALTIOK, T.; MELAMED, B. *Simulation modeling and analysis with Arena*. Cambridge: Academic press, 2010.
- AXELROD, R. Advancing the art of simulation in the social sciences. In: CONTE, Rosaria; HEGSELMANN, Rainer; TERNA, Pietro. *Simulating social phenomena*. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1997. p. 21-40.
- BORNING, A. et al. UrbanSim: using simulation to inform public deliberation and decision-making. *Digital Government*, v. 17, p. 439-464, 2008.
- BRYAN, J. *Human Behavior in Fires*. Bonnie Walker & Associates, 1993.
- CORPO, de Bombeiros. *Instrução técnica* 012/2010. Disponível em: <http://www.corpodebombeiros.sp.gov.br/rev_it/IT12.pdf> Acesso em: 2 set. 2017.
- DOWNEY, A. B. *Think complexity: complexity science and computational modeling*. United States: O'Reilly Media, 2012.
- EDRISSI, Ali et al. A multi-agent optimization formulation of earthquake disaster prevention and management. *European Journal of Operational Research*, v. 229, n. 1, p. 261-275, 2013.
- FEHLER, M. et al. Techniques for analysis and calibration of multi-agent simulations. In: *ESAW*. 2004. p. 305-321.
- FREITAS FILHO, P. J. de. *Introdução à modelagem e simulação de sistemas com aplicações em arena*. Florianópolis - SC: Visual Books, 2008.
- FURTADO, B. et al. *Modelagem de sistemas complexos para políticas públicas*. IPEA-Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília. 2015. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/150727_livro_modelagem_sistemas.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2017.
- GILBERT, N.; TERNA, P. How to build and use agent-based models in social science. *Mind & Society*, v. 1, n. 1, p. 57-72, 2000.
- GOMES DE JESUS, J. Psicologia das massas: contexto e desafios brasileiros. *Psicologia & Sociedade*, v. 25, n. 3, 2013.
- HELBING, D. et al. Simulating dynamical features of escape panic. *Nature*, v. 407, n. 6803, p. 487-490, 2000.
- HELBING, D.; MOLNÁR, P. Social force model for pedestrians dynamics. *Physical Review E*, 1995.
- MCKINNEY, W. *Python for data analysis: data wrangling with pandas, NumPy, and IPython*. China: O'Reilly Media, 2012.
- NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. *Life Safety Code*. Disponível em: <<http://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=101>> Acesso em: 07 out. 2017
- NELSON, H. E.; MOWRER, F. W. Emergency movement, the SFPE handbook of fire protection engineering, ed. *DiNenno P., Walton DW National Fire Protection Association*, 2002.
- NORTH, M. et al. Experiences creating three implementations of the repast agent-modeling toolkit. *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation (TOMACS)*, v. 16, n. 1, p. 1-25, jan. 2006.
- PROULX, G.; RICHARDSON, J., The human factor: building designers often forget how important the reactions of human occupants are when they specify fire and life safety systems. *Canadian Consulting Engineer*, n. 43 (3), p. 35-36, may 2002.

RIPLEY, A. *Impensável*: como e por que as pessoas sobrevivem a desastres. São Paulo: Globo Livros, 2008.

TURNER, R.; KILLIAN, L. *Collective behavior*. Englewood Cliff, NJ: Prentice Hall, 1954.

VARGAS, M. et al. Modelagem do fluxo de pedestres pela teoria macroscópica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 34, n. 4, p. 4318, 2012.

VEYRET, Y. (org.). *Os riscos*: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. São Paulo: Contexto, 2007.

WINDRUM, P. et al. Empirical validation of agent-based models: Alternatives and prospects. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, v. 10, n. 2, p. 8, 2007.