



ANÁLISE DA DINÂMICA DE MULTIDÕES SOB A ÓTICA DA TEORIA DOS JOGOS

Erasmu Nunes Melo

Centro de Estudos e Ensaio em Risco e Modelagem Ambiental (CEERMA)
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
Av. da Arquitetura, S/N Cidade Universitária, CEP: 50.740-550, Recife / PE
erasmonunes@bol.com.br

RESUMO

O constante crescimento populacional e as grandes concentrações de pessoas em diferentes cenários explicitam a importância de se estudar o comportamento de multidões. Simulações e modelos matemáticos são destaques entre as formas pelas quais estes estudos vêm sendo desenvolvidos. Estes meios são os mais frequentes devido à falta de dados complementares para desenvolver e validar um modelo explicativo, além de questões morais, legais e éticas que impossibilitam o uso de pessoas em simulações com condições reais de pânico. A teoria dos jogos tem sido utilizada para explicar os diferentes comportamentos da multidão, só que ainda são poucos os estudos desenvolvidos nesta área. Este trabalho tem como objetivo associar o uso da teoria dos jogos, expressa por meio da ideia envolvida no “dilema dos prisioneiros” ao comportamento “mais rápido é mais lento”, existente entre os diversos tipos que podem ser detectados por meio do estudo da dinâmica de multidões.

PALAVRAS CHAVE. Dilema dos prisioneiros, Dinâmica de multidões, Mais rápido é mais lento.

ABSTRACT

The steady population growth and large concentrations of people in different scenarios clearly demonstrate the importance of studying the behavior of crowds. Simulations and mathematical models are featured among the ways in which these studies have been conducted. These means are the most common due to lack of supporting data to develop and validate an explanatory model, as well as moral, legal and ethical issues that avoid the use of simulations with real people in panic conditions. Game theory has been used to explain the different behavior of the crowd, just that there are few studies conducted in this area. This work goal is to combine the use of game theory, expressed through the idea involved in the “prisoners dilemma” of the behavior “faster is slower”, existing between different types that can be detected by studying the dynamics crowds.

KEYWORDS. Prisoners dilemma, Dynamics of crowds, Faster is slower.

1. Introdução

Grandes tragédias marcadas pelo pânico foram registradas nos últimos tempos, o ataque às Torres Gêmeas, o incêndio da boate *Kiss*, são exemplos destas que ficaram marcadas no cenário internacional. Casos como estes, retratam cenários aterrorizantes, como o desespero de pessoas que buscam saídas para livrá-las das consequências geradas por tais fenômenos, no entanto, não estão livres do perigo gerado por tumultos e aglomerações de pessoas que compartilham do mesmo objetivo, sobreviver, e acabam por vivenciar momentos indesejáveis proporcionados pelo comportamento individual e que geram consequências inesperadas para todos.

Este comportamento pode ser visto na Teoria dos Jogos, especificamente na ideia implícita no Dilema dos Prisioneiros, que descreve o resultado obtido quando pessoas pensando em si, fazem escolha por uma opção que é desfavorável a todos.

O estudo de dinâmica de multidões, tem se tornado cada vez mais importante no que diz respeito à segurança de ambientes em situações de emergência, e/ou situações que possam colocar a vida dos ocupantes em risco, haja vista a aglomeração gerada por pessoas com características distintas num mesmo espaço físico (CARNEIRO, 2012).

Acidentes ou simplesmente ameaças, quando envolvem cenários com multidões, se tornam tarefa difícil de ser controlada, seja pelo pânico gerado pelas pessoas ou pela dificuldade de evacuação dos ocupantes no cenário de risco. Num planeta com sete bilhões de pessoas, cada vez mais urbano, as aglomerações se tornaram parte do cotidiano (MARTINS *et al.*, 2013).

A evacuação de um grupo de pedestres, a partir das áreas de risco conforme as condições temporais e físicas, é de extrema relevância se as pessoas não conseguem escapar da zona de perigo devido a obstáculos, insuficiência de saída ou até mesmo por seleção errada da saída, pessoas podem ser feridas ou até mesmo mortas, sejam por consequências do incidente ou comportamento da multidão por exemplo, correr simultaneamente em direção a saída, arrastando, empurrando, atropelando, entre outros (XIAOPING *et al.*, 2009).

Em casos de evacuação de emergência, alguns comportamentos podem ser identificados, tais como: Fenômeno de ir com a multidão, Fenômeno de reunião, Retrocesso, Comportamento de Parentesco, Arqueamento, Mais rápido é mais lento, Efeito não aventureiro e Pânico (CARNEIRO, 2012).

Este trabalho atentará para o comportamento mais rápido é mais lento (*faster is slower*), situação que se refere ao aumento do tempo de evacuação de multidões em situações de emergência, em função do grau de pressa da multidão em sair do ambiente o mais rápido possível. Buscar-se-á por meio de modelos matemáticos existentes na literatura assim como trabalhos desenvolvidos nesta área, explicar este comportamento associando-o ao conceito da Teoria dos jogos existente no Dilema dos Prisioneiros.

2. Revisão da literatura

A eminente preocupação em descrever o comportamento de pedestres em situações de deslocamento coletivo tem se tornado tema de diversos estudos, sobre os diferentes comportamentos que o indivíduo assume quando em uma multidão e situação de emergência. Segundo Carneiro (2012), podem-se citar:

- a) **Fenômeno de ir com a multidão:** também conhecido como Comportamento de Pastoreio, é quando o indivíduo tende a seguir o fluxo das outras pessoas por não saber onde se encontra a saída, por exemplo;
- b) **Fenômeno de reunião:** os indivíduos, neste caso, se sentem mais seguros onde se encontra a multidão e tendem a permanecer juntos da mesma, o que pode causar seu recolhimento dentro do local;
- c) **Retrocesso:** em que pessoas retornam para recuperar pertences ou ajudar outras pessoas;
- d) **Comportamento de Parentesco:** as pessoas tendem a se reunir com seus parentes ou retornar para procurá-los;
- e) **Arqueamento:** fenômeno que ocorre nas saídas dos locais, em que há a aglomeração de pessoas em torno das saídas;

- f) **Mais rápido é mais lento:** quanto mais rápido as pessoas tentam andar, mais lenta pode se tornar a evacuação;
- g) **Efeito não aventureiro:** as pessoas tendem a utilizar as saídas mais seguras e conhecidas;
- h) **Pânico:** é uma reação psicológica causada em momentos como uma emergência e que pode fazer com que o indivíduo não raciocine, haja por impulso e por vezes fique sem reação.

O uso de simulações e modelos matemáticos tem sido cada vez mais comum, devido à falta de dados complementares para desenvolver e validar um modelo explicativo (SHIWAKOTI; SARVI, 2013). No entanto, a falta de informações das condições reais em casos extremos realça a importância do cuidado em tirar conclusões para sistemas reais baseados em modelos físicos ou computacionais (SORIA *et al.*, 2012).

O estudo de modelos matemáticos remonta dos estudos de Von Neumann com o advento de autômatos celulares (XIAOPING *et al.*, 2009). Após este marco, “a modelagem e a simulação de multidões tem sido tema de estudo em diferentes áreas da ciência, devido a um número considerável de aplicações” (BICHO, 2009, p. 23).

Um problema de Simulação de Multidões pode ser abordado de diferentes formas, segundo Xiaoping *et al.* (2009). Entre elas tem-se:

- **Autômatos Celulares:** em que se divide o espaço físico do local em células, as quais devem possuir o mesmo formato e dimensão. A essas células serão atribuídos valores e através do valor de cada uma, os indivíduos se deslocarão, sempre em busca de valores menores, pois as saídas são as células de menor valor;
- **Rede de Gás:** caso especial dos autômatos celulares. Cada pedestre é uma partícula ativa na grade;
- **Forças Sociais:** nesta abordagem o indivíduo se mantém afastado das fronteiras do ambiente, como paredes e de outros indivíduos, mas pode também ser atraído por outros indivíduos, como conhecidos;
- **Dinâmica dos Fluidos:** a multidão é tratada como um fluido. Sua velocidade e deslocamento são tratados através de equações diferenciais;
- **Baseado em agentes:** são modelos computacionais que constroem estruturas sociais, através da simulação de indivíduos com agentes virtuais, e criam organizações emergentes fora da operação de regras que governam as interações entre os agentes;
- **Teoria dos Jogos:** leva em consideração a competição entre indivíduos como, por exemplo, indivíduos competindo para passar pela saída de emergência;
- **Abordagem baseadas em experiências com animais:** é uma nova abordagem para o estudo de evacuação de multidões, uma vez que evacuações por meio de experimentos em verdadeiras condições de pânico são difíceis, especialmente com os seres humanos por causa de possíveis preocupações éticas e mesmo legais.

Xiaoping *et al.* (2009) além de identificarem sete abordagens metodológicas para a evacuação de multidão, realçam a importância de incorporar aos modelos de evacuação, os elementos psicológicos e fisiológicos que afetam os comportamentos individuais e coletivos.

Dentre as contribuições destes modelos de evacuação, pode-se citar o fornecimento do “[...] tempo de evacuação total a partir de várias simulações juntamente com o histograma da distribuição do tempo de evacuação” (PEREIRA *et al.*, 2009, p. 692). Esta prática se torna cada vez mais útil uma vez que tentar simular situações de emergência em ambientes reais ou é muito caro ou mesmo impossível (CARNEIRO, 2012), além do fato de que há preocupações éticas e de segurança que impedem a criação de um verdadeiro pânico (SHIWAKOTI; SARVI, 2013).

Tais problemas dificultam os estudos do comportamento e dos efeitos causados por pedestres em situações de pânico. Pesquisadores têm que se limitar a um pequeno número de participantes com nenhum controle sobre o nível de pânico, que depois podem não representar o cenário verdadeiro para o comportamento das multidões de pedestres (SHIWAKOTI; SARVI,

2013). Podem também fazer uso dos modelos de simulação de evacuação, ferramenta aplicada na previsão do desempenho de evacuações em um ambiente específico, o que a torna uma ferramenta importante para a análise de evacuação no mesmo (XIAOPING *et al.*, 2009).

Diversos estudos foram gerados a partir do uso de modelo de simulação de evacuação, dentre estes podem ser citados:

- Fu *et al.* (2013), que realizaram simulações numa sala para estudar a relação do centro de gravidade da saída e o centro de gravidade do fluxo;
- Weifeng e Hai (2011), que utilizaram simulações para estudar o comportamento humano numa evacuação de emergência de um compartimento cheio de fumaça;
- Song *et al.* (2013), que realizaram simulação de evacuação para o bioterrorismo em ambientes de pequenos espaços.
- Silva *et al.* (2012), que utilizaram simulações para análise da evacuação de uma sala de cinema, visando identificar dentre quatro modelos geométricos da sala, o que minimiza o tempo de evacuação em função do número de pedestres;
- Cirillo e Muntean (2013), que utilizaram a abordagem de *Lattice Gas* para simular a evacuação de pedestres em ambientes sem visibilidade a fim de comprovar o padrão de comportamento encontrado em emergências reais de que, em desastres, as pessoas tendem a agir cooperativamente de forma altruísta;
- Wang *et al.* (2013), que simulam a evacuação de pedestres no Festival de Primavera na China através de um modelo baseado na abordagem de forças sociais para entender as características da movimentação em massa;
- Carneiro (2012), que realizou simulações de evacuação de multidões num estádio de futebol, por meio do uso de autômato celular;
- Bicho (2009), que realizou simulações de multidões baseado no algoritmo de colonização de espaço, modelo este originalmente proposto para modelar padrões de nervuras em folhas vegetais e de ramificações em árvores.

Além destes, observam-se casos de simulações com não humanos. A saber, Soria *et al.* (2012) realizaram experimentos com formigas, para explicar o comportamento “mais rápido é mais lento”.

Os modelos animais podem fornecer um meio de testar empiricamente e verificar modelos de pedestres humanos, especialmente quando os indivíduos humanos não podem facilmente ser empregues de forma ética (SHIWAKOTI; SARVI, 2013).

O uso de teoria dos jogos também tem sido utilizado para descrever comportamento de pedestres, Zheng e Cheng (2011) estudam os conflitos na dinâmica de evacuação de multidão durante os processos de evacuação, por meio da combinação de um jogo de conflitos com um modelo de autômatos celulares, fatores como a racionalidade, efeito manada e o custo de conflito, também são levados em consideração, tendo em vista o estudo das estratégias dos evacuados assim como do tempo de evacuação.

Poucos estudos sobre a teoria dos jogos têm sido realizados para explorar comportamentos de conflito em multidão no processo de evacuação (ZHENG; CHENG, 2011). Fianni (2009) descreve que situações que envolvam interações entre agentes racionais que se comportam estrategicamente podem ser analisadas formalmente como um jogo. Este autor trata ainda dos elementos de um jogo, a saber:

- **Interação:** significam que as ações de cada agente, afetam os demais;
- **Agentes:** é qualquer indivíduo, com capacidade de decisão para afetar os demais;
- **Racionalidade:** assumir que os agentes são racionais significa supor que os indivíduos empregam os meios mais adequados aos objetivos que almejam;
- **Comportamento estratégico:** Entende-se que cada jogador, ao tomar a sua própria decisão, leva em consideração o fato de que os jogadores interagem entre si, assim como as decisões dos outros jogadores terão consequências sobre ele, ou seja, o que um dos

jogadores decide depende do que ele acha que os demais farão em resposta às suas ações, o que, por sua vez irá depender do que os demais jogadores acham que ele fará, e assim por diante.

No que diz respeito à evacuação de multidão em situações de emergência, Soria *et al.* (2012) afirma que uma vez que a evacuação começa cada agente tenta escapar o mais rapidamente possível, seguindo um caminho direto para a saída, a todo o momento, gerando assim um congestionamento antes da saída contendo todos os agentes que ainda não poderão sair, e este congestionamento irá durar toda a evacuação.

3. Aplicação do dilema dos prisioneiros no efeito “quanto mais rápido mais lento”

Este estudo aborda na Tabela 1 uma situação em que os agentes têm que decidir entre duas situações, ser educado diante o pânico gerado pela emergência da situação ou disputar espaço em busca da sobrevivência a todo custo aderindo-se ao tumulto gerado pelo pânico.

Tabela 1- Jogo de conflito com dois jogadores e duas estratégias.

	Educado	Disputar
Educado	0, 0	0, b
Disputando	b, 0	-c, -c

Fonte: Adaptado de Zheng e Cheng (2011)

Utilizou-se como base o modelo proposto por Zheng e Cheng (2011) que investiga conflitos de multidão no processo de evacuação e os mecanismos relacionados da formação de conflitos por meio de jogo de conflitos.

Mediante o modelo proposto por Zheng e Cheng (2011), imaginemos a situação em que duas pessoas se encontram num ambiente fechado exceto por uma única saída, e que por esta, possa passar apenas uma pessoa por vez, além disto, ambas compartilham do mesmo objetivo, sair do ambiente, desta forma, se adotarem a estratégia “educado”, permaneceram imóveis obtendo-se com isto *payoffs* 0.

Caso uma das pessoas escolha a estratégia “disputar” e a outra escolha “educado”, a que escolheu a estratégia “disputar” vai passar a saída e obter $T(b)$, enquanto que o benefício do que escolheu “educado” será $S(0)$, conforme a seguinte relação: $T > S$.

Outra situação pode ser dada por ambos escolherem a estratégia “disputar”, obtendo com isto, *payoffs* (-c), implicando numa situação que é desfavorável a ambos, uma vez que (-c) reflete uma penalidade.

Além das estratégias “Educado” e “Disputar”, os autores introduzem a estratégia Normal para descrever pessoas que buscam escapar de maneira ordenada, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Jogo com dois jogadores e três estratégias

	Educado	Normal	Disputar
Educado	0, 0	0, b	0, b
Normal	b, 0	b/2, b/2	0, b
Disputar	b, 0	b, 0	-c, -c

Fonte: Adaptado de Zheng e Cheng (2011)

O modelo é dado por: $G = \{N, A, U\}$, de modo que $N = \{1, 2, \dots, n\}$ denota os jogadores, $A = \{\text{“Educado”}, \text{“Normal”}, \text{“Disputar”}\}$ denota as estratégias, e $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ é uma função *payoff*. Com isto, para pessoa $i \in N$, a função *payoff* $u_i: A^n \rightarrow R$ pode ser escrita como

$$u_i(a_i, a_{-i}) = \begin{cases} 0, & \text{se } h_V(a) = 0 \text{ e } h_N(a) = 0 \\ b / h_N(a_i, a_{-i}) \cdot I_N(a_i), & \text{se } h_V(a) = 0 \text{ e } h_N(a) > 0, \\ b \cdot I_V(a_i), & \text{se } h_V(a) = 1, \\ -c \cdot I_V(a_i), & \text{se } h_V(a) > 1 \end{cases}$$

onde $h_V(a)$ e $h_N(a)$ denotam o número de pessoas que escolheram estar “disputando” e “normais” respectivamente, e $I_Y(x)$ é uma função indicadora, de tal forma que $I_Y(x) = 1$ para $x = y$ e zero caso contrário.

Do modelo descrito percebe-se que Pessoas “educadas” obtêm o valor, 0, sendo que eles escolheram ficar parado. Pessoas com a estratégia “disputar”, quando alcançarem a posição receberam a recompensa b , enquanto isto, pessoas que utilizam a estratégia “disputar” que não conseguem atingir a posição, terão de pagar o custo, c .

Conforme Zheng e Cheng (2011), o custo de conflito c representa o grau de emergência na evacuação, em que $c = 0$ indica uma situação de emergência do alto grau e $c = 10$ indica um grau de emergência muito mais baixo. Numa condição de emergência c deve ser menor do que 1, devido ao desrespeito das pessoas por conflitar com os outros em um esforço para escapar o mais rápido possível.

Com tais observações, Zheng e Cheng (2001) por meio de um jogo 2 x 3 (dois jogadores, três estratégias), expõem quatro equilíbrios puro de Nash (“educado”, “disputar”), (“disputar”, “educado”), (“normal”, “disputar”) e (“disputar”, normal”) e dois para estratégia mista, $(0, 2c/(2c + b), b/(2c + b))$, que é a probabilidade mais as estratégias, “educado”, “normais” e “disputando”.

Numa situação em que c tende a zero, a solução em estratégia mista corresponde a $(0, 0, 1)$, significa que as pessoas no jogo adoraram estar “disputando”, com isto, é provável que os evacuados tenderão a se mover para a mesma posição, apresentando desta forma uma situação de conflito. Sendo assim, os evacuados em conflitos são tomados como jogadores em um jogo de conflitos.

Zheng e Cheng (2011) descrevem dois possíveis comportamentos da multidão mediante situação de emergência, o primeiro comportamento no processo de evacuação, os evacuados são propensos a imitar os comportamentos dos outros, devido ao contágio emocional, e o segundo é que possam agir de forma independente, de acordo com seu próprio julgamento.

Desta forma, os autores realizam experimentos expondo k como sendo o fator de racionalidade, e por racionalidade, consideram-se como sendo a capacidade do evacuado para julgar a distância e ambiente assim como a capacidade do evacuado para escolher uma melhor estratégia para si. Logo, pessoas com alta racionalidade tendem a lidar com várias situações de acordo com a precisão de seu julgamento, enquanto pessoas de baixa racionalidade escolhem a estratégia de forma aleatória.

Como resultados do experimento os autores destacam os seguintes: para uma situação de emergência, no meio da multidão de alta racionalidade, o comportamento “disputar” ocorre com mais frequência do que em multidões de baixa racionalidade, e o comportamento “educado” é escasso, muito menos do que em multidões de baixa racionalidade.

De outra forma, para uma situação normal, com uma multidão de alta racionalidade, o comportamento “disputar” é quase o mesmo que em multidões de baixa racionalidade. No entanto, para esta situação não existe quase nenhuma estratégia “educado”, assim, o comportamento “normal” é geral, o que implica que a evacuação é o processamento na ordem correta. Em conclusão, a racionalidade dos evacuados leva a mais comportamentos “disputar” e inibe comportamentos “educado”.

Desta forma, Zheng e Cheng (2011) ressaltam que o tempo de evacuação aumenta com o aumento da frequência de estratégia “disputar”. Resultados estes, que pode ser explicados por meio do dilema dos prisioneiros, em que, segundo a definição original de Albert Tucker formalizada em Poundstone (1992) a qual afirma que individualmente cada jogador pensando no que é o melhor para si é racional para ambos os prisioneiros desertarem mesmo que o interesse coletivo em cooperar pudesse proporcionar uma solução melhor para ambos.

No que diz respeito ao comportamento “mais rápido é mais lento” (*faster is slower*), Fu *et al.* (2013) afirmam que a forma de distribuição de fuga de pessoas perto da saída é um semicírculo, em que os evacuados preferem o centro da saída, mesmo que eles possam sair a partir de qualquer posição da sala, o que resulta em uma supersaturação nas células centrais da saída e uma baixa eficiência do uso de células nas margens da saída.

Fu *et al.* (2013), afirmam ainda que evacuados sob a maior linha de densidade acham que é difícil atravessar o fluxo de pedestres, com isto forma-se um canto morto na vizinhança da saída. Desta forma, evacuados na corrente principal precisam caminhar uma longa distância para chegar ao centro de atração da saída. De outra forma, evacuados no canto morto acham que é difícil atravessar o rio principal, resultando em um maior tempo de evacuação.

4. Conclusões

Com este estudo foi possível associar as estratégias individuais dos agentes com o comportamento “mais rápido é mais lento”. Este comportamento interfere no tempo total de evacuação devido à aglomeração próxima à saída, ocasionada mediante a necessidade de evacuar-se do ambiente o mais rápido possível. Este comportamento foi fundamentado por meio de um modelo que mostrou maioria de preferência pela estratégia “disputar”, inibindo as estratégias “educado” e “normal” que poderiam a depender do cenário de risco, apresentar uma melhor escolha, caso que não aconteceu evidenciando a ideia imposta pelo dilema dos prisioneiros.

Desta forma fica claro que ao passo que as pessoas agem pensando em si, escolhendo em sua maioria a estratégia “disputar”, acabam por gerar uma situação desfavorável para todos, pois com tal estratégia cria-se um congestionamento nas mediações da saída em forma de semicírculo, concentrando uma maioria no centro da saída inviabilizando a redução de tempo total de evacuação, mostrando assim a evidencia do comportamento “mais rápido é mais lento” para evacuação de multidões em situações de emergência.

Referências

- BICHO, A. L.** Da modelagem de plantas à dinâmica de multidões: um modelo de animação comportamental bio-inspirado. São Paulo, 2009, 122 p. (Doutorado – Universidade Estadual de Campinas, SP).
- CARNEIRO, L. O.** Simulação de Evacuação de Multidão por Autômato Celular Estudo de Caso em um Estádio de Futebol. Fortaleza, 2012, 73 p. (Mestrado – Universidade Federal do Ceará).
- CIRILLO, E. N. M.; MUNTEAN, A.** Dynamics of pedestrians in regions with no visibility – a lattice model without exclusion. *Physica A*, vol. 392, n.17, pp. 3578–3588, 2013.
- FIANI, R.** Teoria dos Jogos: com aplicações com economia, administração e ciências sociais. 3 ed., Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
- FU, Z.; YANG, L.; CHEN, Y.; ZHU, K.; ZHU, S.** The effect of individual tendency on crowd evacuation efficiency under inhomogeneous exit attraction using a static field modified FFCA model. *Physica A*, vol. 392, n.23, pp. 6090–6099, 2013.
- MARTINS, I.; BUSCATO M.; PONTES F.; KARAM L.; FINCO N.** O perigo das multidões. *Revista Época Online, Edição Especial*, Nov. 2013. Disponível em: <<http://revistaepoca.globo.com/tempo/noticia/2013/02/o-perigo-das-multidoes.html>>. Acessado em: 12 jan. 2014.
- PEREIRA, L. A.; DUCZMAL, L. H.; CRUZ, F. R. B.** Simulação de Evacuação Emergencial Via Autômatos Celulares: Uma Proposta de Modificação do Modelo de Schadschneider. In: *Anais do XXXII Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional, Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional, Cuiabá, Set. 2009.*
- POUNDSTONE, William. (1992).** Prisoner’s Dilemma: John von Neumann, Game Theory, and the Puzzle of the Bomb, New York: Doubleday, ISBN: 0385415672.
- SHIWAKOTI, N.; SARVI, M.** Understanding pedestrian crowd panic: a review on model organisms approach. *Journal of Transport Geography*, vol. 26, pp. 12–17, 2013.



- SILVA, T.; GRAMANI, L.; KAVISKI, E.; BALBO, F.; FERREIRA, M.** Análise do tempo de evacuação total de um cinema por meio da aplicação de simulações computacionais. *Revista Ingeniería Industrial*, vol. 11, n. 1, pp. 5-16, 2012.
- SONG, Y.; GONG, J.; LI, Y.; CUI, T.; FANG, L.; CAO, W.** Crowd evacuation simulation for bioterrorism in micro-spatial environments based on virtual geographic environments. *Safety Science*, vol. 53, pp. 105–113, 2013.
- SORIA, S.A.; JOSENS, R.; PARISI, D.R.** Experimental evidence of the “Faster is Slower” effect in the evacuation of ants. *Safety Science*, vol. 50, n. 7, pp. 1584–1588, 2012.
- WANG, L.; ZHANG, Q.; CAI, Y.; ZHANG, J. ; MA, Q.** Simulation study of pedestrian flow in a station hall during the Spring Festival travel rush. *Physica A*, vol. 392, n. 10, pp. 2470–2478, 2013.
- WEIFENG, Y.; HAI, T. K.** A model for simulation of crowd behaviour in the evacuation from a smoke-filled compartment. *Physica A*, vol. 390, n. 23-24, pp. 4210–4218, 2011.
- XIAOPING, Z.; TINGKUAN, Z.; MENGTING, L.** Modeling crowd evacuation of a building based on seven methodological approaches. *Building and Environment*, vol. 44, n.3, pp. 437–445, 2009.
- ZHENG, X.; CHENG, Y.** Conflict game in evacuation process: A study combining Cellular Automata model. *Physica A*, vol. 390, n. 6, pp. 1042-1050, 2011.