

**Orador:**

João Emílio S. C. Almeida – Investigador no LIACC, Universidade do Porto

**Título:**

Modelação e Simulação do Comportamento Humano na Evacuação de Edifícios

**Resumo:**

Os desafios científicos envolvidos na modelação e simulação do comportamento humano são, de tal ordem, que remetem este problema para o domínio da complexidade matemática. As várias abordagens existentes usam modelos simplificados, considerando apenas um reduzido número de atributos do processo de tomada de decisão. Por outro lado, a falta de modelos de referência leva a que seja difícil o processo de validação.

Os métodos existentes (questionários, observação direta e filmes de simulacros) são de difícil validação e apresentam desvios consideráveis. Uma possível solução poderá passar pela combinação de Modelação e Simulação Social baseada em Agentes (ABMS – *Agent-Based Modelling and Simulation*) e jogos sérios (SG – *Serious Games*). ABMS é uma técnica utilizada para criar sociedades artificiais em computador (por ex. *Second Life* e *The Sims*). SG têm sido utilizados com sucesso para treino e formação de pessoas, num ambiente lúdico e pedagógico.

Nesta comunicação apresenta-se um projeto de investigação em curso no Laboratório de Inteligência Artificial e Ciências da Computação (LIACC), da Universidade do Porto, em colaboração com o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), designado **mSPEED** (*modelling and Simulation of Emergency Evacuation Dynamics*).

## 1. O Problema: a evacuação de edifícios

O estudo do comportamento humano em situações normais e de emergência na evacuação de edifícios tem merecido uma atenção crescente por parte da comunidade científica nas últimas décadas. A complexidade de alguns edifícios públicos, a necessidade de conciliar a segurança com uma arquitetura moderna, sem descuidar a garantia de segurança dos seus ocupantes, é uma das motivações para este estudo, por parte de arquitetos, engenheiros, mas também matemáticos, físicos, cientistas da computação, assim como de sociólogos [1].

Os objectivos a atingir com este estudo passam por:

- Calcular o tempo máximo de evacuação de um edifício;
- Aferir e validar as regras de segurança das arquiteturas dos edifícios;
- Definir estratégias para os técnicos que elaboram Planos de Emergência e Evacuação.

Para se conseguir aqueles objectivos, é necessário (lista não exaustiva):

- Identificar os locais onde possam ocorrer congestionamento de pessoas;
- Validar o dimensionamento e localização das vias de evacuação, horizontais e verticais;
- Identificar os aspectos mais importantes na movimentação de pessoas, em situações normais e de emergência;
- Caracterizar os parâmetros que afectam a mobilidade de pessoas (físicos, psicológicos, sociológicos);
- Identificar as limitações para pessoas de mobilidade reduzida e apontar soluções;
- Perceber o comportamento humano e os mecanismos de tomada de decisão, para elaborar estratégias adequadas que permitam acelerar o processo de evacuação;
- Definir medidas de segurança passiva e ativa com impacto na evacuação.

Os trabalhos pioneiros de especialistas como Fruin e Bryan (EUA), Pauls (Canada), Predtechenkii e Milinskii (antiga União Soviética) e de Togawa (Japão), entre outros, permitiram ajudar a perceber as leis fundamentais da movimentação de pessoas em situações de emergência e estabelecer relações entre velocidades e densidades e entre fluxos e densidades. A legislação de segurança ao incêndio em diversos

países incorpora leis relativas ao dimensionamento dos caminhos de evacuação, verticais e horizontais, que decorre do trabalho teórico de pesquisa daqueles e de outros cientistas.

Nos edifícios com grande desenvolvimento em altura ou planimetria, onde podem coexistir centenas ou milhares de pessoas em simultâneo, as preocupações de segurança são prioritárias. Os casos dramáticos da história recente, originados por incêndios, terremotos, atentados terroristas ou tumultos, são por demais conhecidos (tabela 1).

*Tabela 1 – alguns incêndios ocorridos no século XX e início XXI [2,3]*

Ano	Local	Ocorrência	Vítimas
1903 <sup>[3]</sup>	Teatro Iroquois, Chicago, EUA	Incêndio com mais de 1600 pessoas na plateia	600 mortos
1908 <sup>[3]</sup>	Rhoads Opera, Boyertown, EUA	Incêndio provocado por lâmpada de querosene	170 mortos
1908 <sup>[3]</sup>	Escola Collinwood, Lake View, EUA	Incêndio em escola elementar, 172 crianças, 2 professores e um auxiliar mortos	175 mortos
1911 <sup>[2,3]</sup>	Triangle Shirtwaist, Nova Iorque, EUA	Incêndio edifício 10 pisos, indústria de vestuário	145 mortos
1912 <sup>[2]</sup>	Equitable Building, Nova Iorque, EUA	5 edifícios, o maior com 10 pisos, destruição total	7 mortos
1945 <sup>[2]</sup>	Empire State Building, Nova Iorque, EUA	Avião B-25 embateu nos 78/79 pisos	14 mortos 25 feridos
1970 <sup>[2]</sup>	One New York Plaza, Nova Iorque, EUA	Incêndio nos 33º e 34º pisos, de um total de 50 pisos	4 mortos 30 feridos
1972 <sup>[2,3]</sup>	Ed. Andraus, S.Paulo, Brasil	Incêndio, 31 andares; gigantesca evacuação por helicópteros	16 mortos 336 feridos
1974 <sup>[2,3]</sup>	Ed. Joelma S.Paulo, Brasil	23 andares, destruição total	179 mortos 320 feridos
1980 <sup>[2]</sup>	MGM Hotel, Las Vegas, EUA	Incêndio em hotel com 21 pisos, evacuação por helicóptero de cerca de 300 pessoas	85 mortos 770 feridos
1988	Chiado, Lisboa	Lojas na baixa Pombalina, 25 de Agosto, ruas do Carmo e Garrett	2 mortos +70 feridos 18 edifícios destruídos
1989 <sup>[2]</sup>	Atlanta, Georgia, EUA	Edifício de escritórios, 10 pisos com cerca 1500 pessoas	5 mortos
1993 <sup>[2]</sup>	World Trade Center, Nova Iorque, EUA	Atentado terrorista: explosão estacionamento; evacuação de 50.000 WTC, num total de 150.000 edifícios próximos; evacuação total: 8 horas	6 mortos 1,042 feridos
2001 <sup>[2]</sup>	World Trade Center, Nova Iorque, EUA	Boing 767 atinge WTC1, pisos 93-99; Boing 767 atinge WTC2, pisos 78-84; Ocupação estimada: 17,560 Ocupantes mortos: 2146/2163 Forças segurança: 421	2,749 mortos

Na tabela 2 encontra-se o número de mortos e feridos nos últimos 3 anos em Portugal, por tipo de uso (dados da ANPC).

*Tabela 2 – incêndios em 2009, 2010 e 2011 por tipo de edifício (ANPC)*

Incêndio tipo	2009			2010			2011		
	Ocorrências	Vítimas		Ocorrências	Vítimas		Ocorrências	Vítimas	
		Feridos	Mortos		Feridos	Mortos		Feridos	Mortos
Habitação	6.302	570	41	6.433	517	43	6.909	530	36
Estacionamento/gare	40	4	0	35	4	0	61	4	0
Serviços	88	1	0	84	5	0	149	1	0
Escolar	72	3	0	82	7	1	147	3	0
Hospitalar/Lar idosos	54	8	0	49	4	0	86	14	1
Espectáculo/Lazer	46	1	0	43	2	0	99	5	0

Hotelaria	424	29	2	391	32	0	427	30	0
Comercial	216	23	0	216	12	0	318	9	0
Museu/Biblioteca	11	0	0	6	0	0	42	0	0
Militar/Segurança	15	3	0	11	7	0	10	2	0
Industrial	918	64	1	952	80	2	1.165	62	1
<b>Totais</b>	<b>8.186</b>	<b>706</b>	<b>44</b>	<b>8.302</b>	<b>670</b>	<b>46</b>	<b>9.413</b>	<b>660</b>	<b>38</b>

Dos números apresentados nas tabelas 1 e 2, pode concluir-se que os incêndios são responsáveis por um grande número de vítimas. A tabela 2 indica os números mais recentes em Portugal, onde continuam a existir bastantes ocorrências, sendo o maior número de vítimas mortais em edifícios residenciais. Estes números justificam a necessidade de se investir e investigar em segurança contra incêndio, assim como a importância que esta área poderá ter para o salvamento de vidas.

A atual legislação, constituída pelo Decreto-Lei 220/20008 e a Portaria 1532/2008, aborda a questão da evacuação de edifícios em dois momentos:

1. Na fase de concepção dos edifícios;
2. Na fase de exploração: Medidas de Autoproteção.

Durante a concepção dos edifícios, há um conjunto de aspetos a considerar que têm por objetivo a salvaguarda da vida dos seus ocupantes. Os pontos mais importantes passam pelo cálculo do efectivo, dimensionamento das vias de evacuação e sua proteção, limitação das distâncias máximas a percorrer. Na fase de exploração, o enfoque vai para a definição de planos de evacuação, formação e treino dos ocupantes.

O problema da evacuação dos edifícios preocupa os técnicos e entidades envolvidas na segurança. Para facilitar o trabalho dos técnicos, precisam-se de metodologias de análise mais sofisticadas que os auxiliem na procura das melhores soluções e na sua implementação.

## 2. Alguns conceitos

A evacuação de edifícios passa por três fases distintas:

1. Deteção;
2. Pré-evacuação;
3. Evacuação.

A primeira fase tem início com o evento que irá determinar a necessidade da evacuação. Esta fase decorre até que a pessoa consiga interpretar os indícios que levem à consciência de que algo de anormal se passa. Pode ser um alarme sonoro de um sistema automático de deteção, o cheiro a fumo, a visualização de chamas, ou uma chamada telefónica a avisar da ocorrência. Esta fase também pode ser denominada de percepção ou tomada de consciência

A segunda fase, denominada pré-evacuação, corresponde ao tempo que medeia entre a tomada de consciência e a decisão de abandonar o edifício. Esta fase é a mais complexa de determinar e a que pode ter maior influência no sucesso da evacuação ou no seu fracasso e conseqüente desfecho dramático. O facto de uma pessoa estar alertada para uma determinada situação de emergência, não implica que se decida imediatamente a abandonar o local onde se encontra. Tal pode dever-se a: pensar tratar-se um falso alarme; de um teste ao sistema; de uma brincadeira de mau gosto; ou ainda de um ato de vandalismo. Enquanto não tiver uma confirmação segura de que há de facto uma emergência que implica uma evacuação, as pessoas tendem a “esperar para ver”. Tal só não acontece quando são os próprios a descobrir o incidente e a aferir da sua gravidade.

A terceira e última fase diz respeito ao processo de evacuação. À escolha do caminho mais rápido e seguro para o exterior, e a todas as decisões necessárias para concluir com sucesso esse processo de movimentação.

Os modelos existentes têm-se focado principalmente nos aspetos relacionados com esta última fase. A fase da pré-evacuação é a que maiores dificuldades apresenta no desenvolvimento de modelos capazes de determinar valores credíveis e realistas, pois depende de características intrínsecas ao comportamento humano, de difícil avaliação e estimação.

Um método possível para determinar o nível de segurança de um edifício baseia-se na relação entre o tempo disponível para evacuar o edifício em segurança (ASET – *Available Safe Egress Time*) e o tempo efectivamente necessário para efetuar a evacuação total do edifício em condições de segurança (RSET – *Required Safe Egress Time*). A relação entre as duas variáveis, para garantir a segurança, encontra-se na seguinte inequação:

$$ASET \geq RSET$$

Este conceito é muito utilizado no projeto de soluções baseadas no desempenho (PBD – *Performance Based Design*). O objectivo é garantir que o tempo em que o edifício conserva as condições necessárias para que a sua evacuação total se processe em segurança é superior ao tempo efetivamente necessário. A dificuldade consiste em avaliar com precisão o valor de cada uma destas variáveis.

ASET está relacionado com o desenvolvimento do incêndio, a propagação do fumo, o aumento da temperatura, o colapso das estruturas. Enquanto as condições de visibilidade, toxicidade, temperatura e estado dos caminhos de evacuação, permitirem a movimentação das pessoas em segurança, estamos dentro do tempo ASET. Pode ser, por exemplo, 60, 90, 120 minutos. O RSET é o tempo necessário para a evacuação total. A expressão de cálculo do RSET [4]:

$$RSET = t_d + t_a + t_o + t_i + t_e$$

Sendo:

$t_d$  - tempo decorrido desde o início do incêndio até à detecção

$t_a$  - tempo desde a detecção até à notificação dos ocupantes

$t_o$  - tempo decorrido desde a notificação dos ocupantes até estes tomarem a decisão de abandonarem o edifício

$t_i$  - tempo desde a tomada de decisão de abandonar o edifício até iniciar a evacuação

$t_e$  - tempo decorrido desde o início da evacuação até ao seu final.

Se num determinado edifício o RSET for igual a 75 minutos, o ASET terá de ser superior, por exemplo, considerar 90 minutos.

Relacionando as fases da evacuação com a fórmula RSET, a fase 1 (detecção) corresponde a  $t_d + t_a$ , a fase 2 (pré-evacuação) a  $t_o + t_i$  e a fase 3 (evacuação) a  $t_e$ . Para facilitar o trabalho dos técnicos, foram desenvolvidas várias ferramentas, incluindo modelos e simuladores para calcular e determinar estas e outras variáveis.

### 3. Modelos descritores do movimento e dos edifícios

Na modelação da evacuação dos edifícios colocam-se duas questões fundamentais: uma é a descrição do movimento a outra é relativa à representação dos edifícios.

Nos primórdios da análise do movimento das pessoas foram propostos diversos modelos teóricos como, por exemplo, o modelo hidráulico, o modelo gasoso e o modelo de partículas sólidas. Estes modelos deram origem a vários métodos de cálculo e serviram de base a alguns dos modelos de simulação iniciais. Porém, permitiam somente uma análise macroscópica do movimento, pelo que a correspondência com o que se passa na evacuação de um edifício era muito reduzida. Por outro lado, inicialmente, os modelos de simulação representavam os espaços através de grafos, o que também limitava a análise não permitindo que esta fosse microscópica.

Posteriormente surgiu um outro, designado por Modelo das Forças Magnéticas, proposto pelos investigadores japoneses Shigeyuki Okazaki e Satoshi Matsushita, em 1993 [7]. Este modelo caracteriza-se por utilizar a metáfora dos polos magnéticos que se atraem e repelem consoante são positivos ou

negativos. Neste modelo, as pessoas e os objetos (paredes e obstáculos) são os polos positivos. O objectivo a atingir é o polo negativo. Assim, as pessoas são atraídas para o objectivo, mas repelem as outras pessoas e obstáculos. Várias regras adaptadas das leis do magnetismo são aplicadas para regular o movimento dos pedestres.

Outro modelo similar é o Modelo das Forças Sociais, proposto por Helbing e Molnar, em 1995 [8], onde identificaram um conjunto de forças e a sua formulação matemática, através da inclusão de vários parâmetros, que rege a atração ou repulsão natural entre as pessoas e o meio envolvente. Em espaços amplos, as forças de repulsão entre as pessoas são relativamente elevadas, mantendo uma grande distância entre os pedestres. Há medida que a densidade aumenta, a força de repulsão relaxa, permitindo um maior número de pessoas por unidade de espaço. O mesmo acontece em relação às paredes. Quando o espaço está livre, circulamos pelo meio, ou numa bissectriz entre os planos dos objetos que delimitam o percurso de circulação. Quando o número de pessoas na vizinhança aumenta, diminui a força de repulsão.

Na vida real, a movimentação das pessoas é dirigida por objetivos (nível estratégico), seleccionando a cada instante o melhor e mais seguro percurso (nível tático), tomando decisões acerca da velocidade, direção, desvio de obstáculos (nível do movimento). Constatando esse facto, Shao et al.[9] propõem um modelo de regras baseadas em simples heurísticas: a escolha da trajetória depende dos obstáculos, da velocidade e direções das outras pessoas, mantendo uma distância de segurança em relação a elas (fig.1).

Shao, Terzopoulos / Autonomous Pedestrians

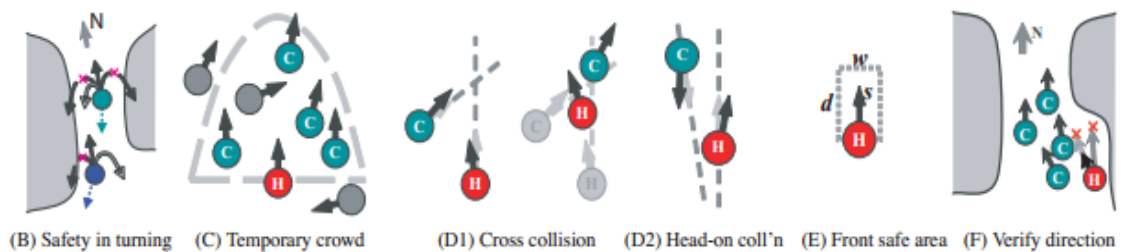


Figura 1 – Regras de movimentação de pessoas (Shao et al., 2005 [9])

Quanto à descrição dos edifícios houve uma evolução, passando da representação baseada numa rede de nós e arcos, à “cellular automata” em que o espaço é discretizado em células bi-dimensionais, e finalmente, pelo espaço contínuo, permitindo estes dois últimos modelos uma dupla análise (macro e microscópica).

Na representação baseada numa rede de nós e arcos, os compartimentos são representados como nós de um grafo, sendo as ligações os arcos. A cada nó é associada um determinado efetivo enquanto os arcos (corredores, escadas, as vias por onde as pessoas passam) têm uma determinada capacidade que não pode em teoria ser ultrapassada. Permitem uma análise macroscópica, pois o movimento individual não é passível de ser determinado, mas sim do conjunto da população. Um exemplo é o EVACNET (fig.2).

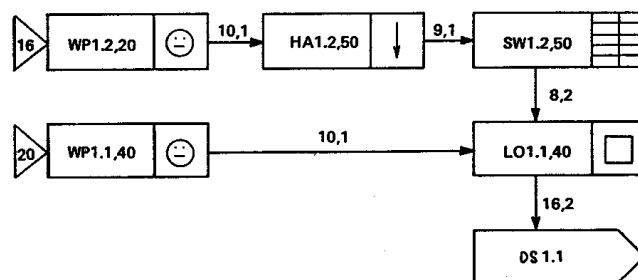


Figura 2 – Modelo macroscópico do tipo “hidráulico”, EVACNET

Nos modelos de representação conhecidos como “cellular automata”, ou autómato celular, o espaço tridimensional é mapeado para duas dimensões (2D), sendo discretizado e dividido em pequenos quadrados (fig.3). Cada pessoa ocupa um ou mais quadrados, estando limitado o seu movimento a 8 graus de liberdade. A simplicidade deste modelo permite um fácil tratamento matemático e implementação em computador, sendo muito utilizado, não apenas em simuladores pedonais, mas também na produção de vídeo jogos ou animações para filmes. Um dos modelos que utiliza este método é o Exodus [5].

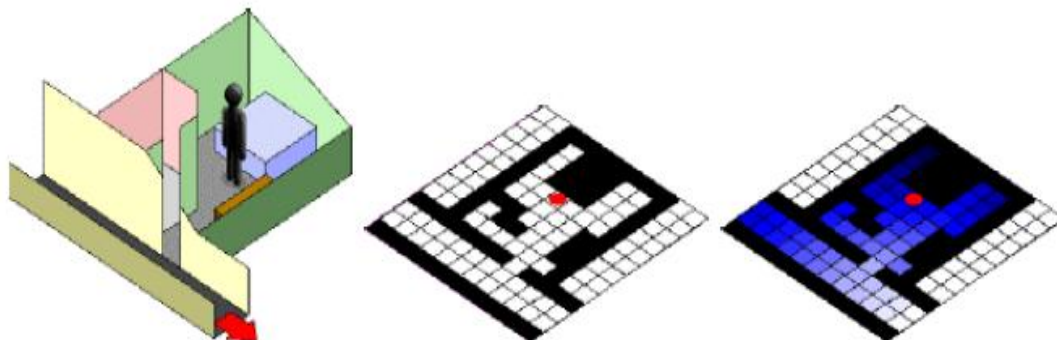


Figura 3 – Modelo do tipo Cellular Automata (Castle, 2007[5])

Os modelos mais realistas são aqueles em que o movimento é livre, sendo o espaço contínuo [6]. Os agentes, que representam as pessoas, movem-se de acordo com regras (como por exemplo [9]), desviando-se de obstáculos, sendo guiados por objectivos (fig.4). Esta representação é a mais adequada para modelos do tipo comportamental ou baseados em forças.

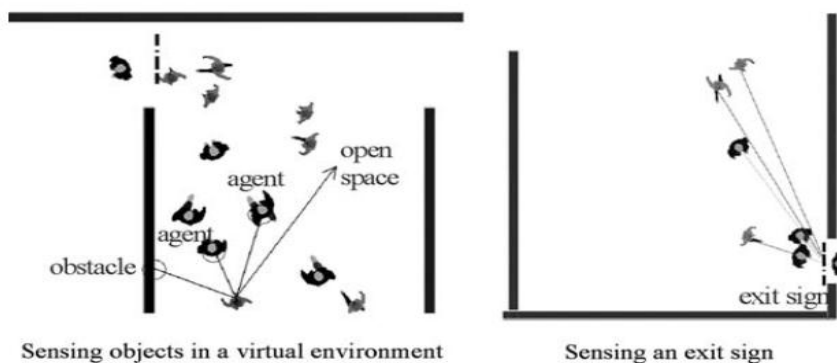


Figura 4 – Modelo de espaço contínuo (Pan et al., 2007 [6])

Desde os anos 1980 que existem vários simuladores em computador para evacuações de edifícios em situações de emergência. Os primeiros baseavam-se nos modelos hidráulicos ou de fluídos, eram simuladores macroscópicos. O Exodus foi um dos primeiros a utilizar o conceito de autómato celular, acrescentando mais tarde o conceito de sistemas multi-agente (*Multi-Agent Systems* ou MAS) para representar os indivíduos [5,6,10-12]. Em MAS cada entidade é um agente autónomo, que em conjunto com outros agentes produz um comportamento emergente do sistema. Podemos utilizar como metáfora os insectos, como formigas ou abelhas, em que a soma dos comportamentos individuais traduz-se numa quase nova entidade colectiva capaz de feitos superiores à simples soma das partes.

A evolução das técnicas de computação gráfica e animação em computador, aliadas a novos métodos de análise numérica, sem esquecer a evolução das capacidades e rapidez de processamento, têm levado a que nos últimos 20 anos tenham surgido muitos simuladores pedonais em situações de emergência em que essa capacidade gráfica está bem patente, indicando-se a título de exemplo os seguintes [13]:

- EXIT89: modelo hidráulico, Rita F. Fahy, NFPA;
- EVACNET: freeware, modelo hidráulico, Thomas Kisko, University of Florida;
- Exodus: em desenvolvimento desde 1993 na Universidade de Greenwich, Reino Unido;
- FDS+EVAC: freeware, NIST,VTT, University of Helsinki;
- Legion: comercial, EUA;
- PedGO: modelo microscópico, comercial, TraffGo HT GmbH;
- SimWalk: celular autómata, comercial, Savannah Simulations AG
- STEPS: comercial, Mott MacDonald / Hoffmann & Henson
- Simulex: espaço contínuo, comercial, IES Ltd / Thompson
- PATHFINDER: comercial, Thunderhead Engineering.

No entanto, a qualidade dos resultados é discutível. Não há dados reais para calibrar e validar estes modelos, e os poucos que existem têm obtido valores diferentes (cf. estudos do WTC [2]). Esta é uma questão abordada no número seguinte.

#### 4. Como validar os modelos/simuladores?

Apesar de o nível de resultados gráficos obtidos pelos simuladores pedonais mais avançados ser visualmente espetacular, subsistem dificuldades na validação dos valores obtidos. O tipo de simulações realizadas não é facilmente reproduzível. Os casos reais conhecidos são escassos e os elementos reduzidos para permitir ilações e calibrar os simuladores. Precisam-se de dados fiáveis para este efeito.

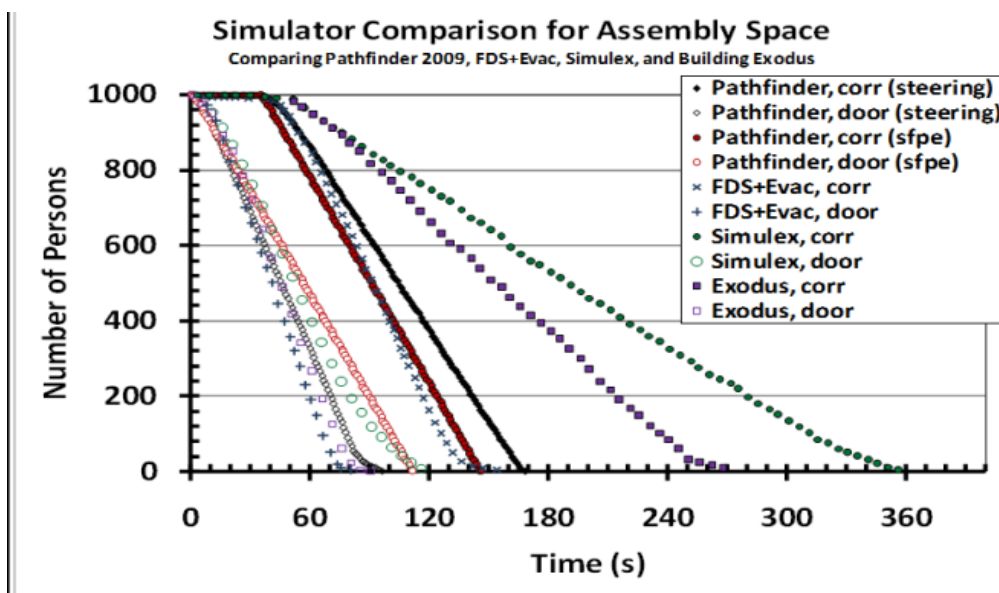


Figura 5 – Comparação entre vários Simuladores (Korhonen & Hostikka, 2010 [14])

Uma possível fonte de dados provém da análise de simulacros. Como o próprio nome indicia, são recreações de situações reais através de cenários, os quais não reproduzem, naturalmente, as condições que ocorrem no decurso de um incêndio, tais como o stress, e a tensão inerente a uma situação de emergência. Os perigos inerentes a uma recriação mais realista, que poderia resultar em danos físicos e humanos, são motivos mais do que suficientes para que os simulacros sejam pouco realistas. Acresce ainda que os meios financeiros e temporais necessários para tais simulacros seriam incombustíveis.

Os poucos simulacros que se têm realizado envolvem cenários limitados, em espaço e número de participantes. As leis que se têm deduzido, quer as de movimento, quer as que tentam reproduzir o comportamento humano, são derivadas desses testes. Quando utilizadas em situações de maior complexidade, os desvios podem ser grandes [2,14]. Contudo, não há formas fáceis nem simples de validar esses dados.

Outra técnica utilizada, consiste em inquéritos. Um trabalho nesta área, que se encontra em desenvolvimento em Portugal, tem recolhido e analisado dados obtidos a partir de questionários feitos a pessoas que participaram em simulacros, tendo algumas delas envolvidas em incêndios. Este projeto de investigação, originalmente ligado à Universidade de Coimbra e com o apoio do LNEC, tem já alguns resultados publicados [15,16].

#### 5. Jogos Sérios: a solução?

Uma possível solução para a recolha de dados, será através de Jogos Sérios. Este conceito, que tem adquirido particular relevância na última década, passa pela utilização de *software* com gráficos de alta definição e tecnologias de última geração. A utilização de Jogos Sérios apresenta um grande potencial de

aplicação numa vasta gama de domínios, onde se inclui a simulação social [17,18]. Enquanto o objectivo dos vídeo jogos tradicionais é o entretenimento, os jogos sérios são concebidos com o propósito de resolver um problema. Embora possam ser divertidos, o seu objectivo principal é treinar, educar, investigar ou formar.

Há plataformas para desenvolvimento de jogos, como por exemplo o Unity3D, que permitem a criação de cenários tridimensionais com elevado grau de realismo, a partir de modelos 3D de edifícios. Na FEUP, no Laboratório de Inteligência Artificial e Ciências da Computação (LIACC), está em curso um projeto de desenvolvimento de um simulador utilizando Jogos Sérios, mSPEED. Este projeto vem na sequência de uma colaboração entre a FEUP e o LNEC, no desenvolvimento de um simulador pedonal, que teve o seu início em 2009, o ModP [1,10-12].

## **6. O projeto mSPEED: Modelo Dinâmico de Simulação Pedonal Em Emergências**

O projecto mSPEED, Modelo Dinâmico de Simulação Pedonal Em Emergências, (em inglês: *modelling and Simulation of Emergency Evacuation Dynamics*) encontra-se em desenvolvimento na FEUP, no LIACC, com a colaboração do LNEC. A motivação deste projeto assenta nos desafios científicos envolvidos na representação do comportamento humano para implementar modelos válidos de simulação social baseados em agentes, assim como nos impactos sociais e económicos que se espera obter com modelos válidos e acurados de pedestres. O principal objectivo consiste em aplicar técnicas de simulação social ao estudo do comportamento de multidões em situações de emergência, onde é essencial garantir uma evacuação rápida e coordenada dos ocupantes.

Este problema tem duas vertentes: a primeira refere-se ao recurso a simulações sociais para estudar multidões e pedestres interagindo em ambientes públicos (centros comerciais, hospitais, transportes públicos, etc.), para conceber e implementar representações válidas do comportamento. A segunda, prende-se com a validação desses modelos, que embora sejam simples, apresentam dificuldades na sua validação devido à falta de dados apropriados, bem como de modelos de referência com os quais possam ser comparados.

Neste projeto, propomos tratar as questões acima identificadas através da combinação de Modelação e Simulação Social baseada em Agentes (ABMS) e jogos sérios (SG). Em ABMS, um agente é basicamente uma entidade autónoma, capaz de perceber o ambiente envolvente por sensores e atuar sobre esse mesmo ambiente, provavelmente afetando o seu estado corrente, através de atuadores. Estes agentes possuem mecanismos de raciocínio que implementam processos de tomada de decisão e possuem canais de comunicação que lhes permitem interagir entre si. Um ponto fundamental consiste na captura das características comportamentais dos indivíduos, principalmente em situações de emergência. Os jogos sérios permitem utilizar os recursos de computação gráfica e animação de entidades virtuais, com objetivos que passam pela formação e treino, ou ainda, aquisição de dados comportamentais.

Ao combinarmos os dois conceitos, pretendemos melhorar os modelos de simulação social e gerar melhores planos e estratégias de evacuação, através da “captura comportamental”, enquanto o desempenho das pessoas a evacuar de um espaço público pode ser melhorado pela “assimilação comportamental”.



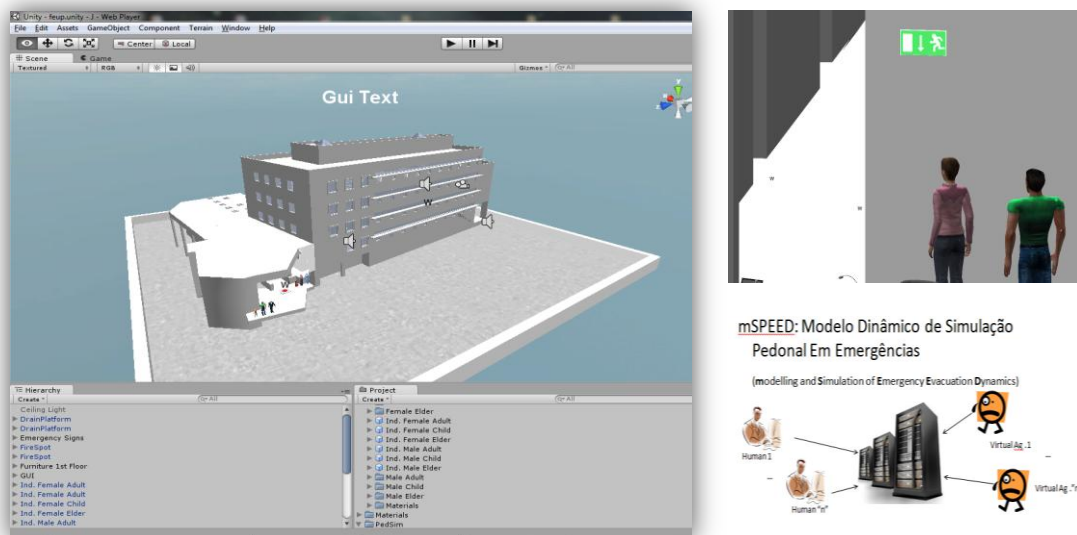


Figura 5 – Imagens do Serious Games ModP3D[17] e mSPEED

A abordagem metodológica proposta é constituída por cinco componentes principais:

- **“Modelos de Referência e Métricas de Validação”**, construídos a partir de técnicas de análise comportamental tradicionais [15,16];
- **“Aquisição Comportamental”**, através da combinação de múltiplos sensores para recolha de dados de pedestres e melhorar a aquisição de dados sobre o comportamento de multidões [19];
- **“Jogos Sérios para captura de Comportamento de Pedestres”**, com o objectivo de capturar dados mais fidedignos sobre o comportamento de pedestres [17,18];
- **“Prospecção Comportamental”** para criar modelos sociais de multidões baseados em agentes;
- **“Ambiente Integrado para Modelação e Simulação baseada em Agentes para Evacuação de Pedestres”**, uma ferramenta de apoio à decisão para análise de risco na evacuação de edifícios em situação de emergência.

No final do projeto pretende-se ter uma plataforma integrada, que servirá para validação das condições de segurança de edifícios novos ou existentes; auxiliar especialistas a desenvolver ou melhorar planos de emergência e sistemas de segurança; para treino de ocupantes utilizando jogos sérios em ambiente de simulacros virtuais; e para os bombeiros e outras forças de emergência desenvolverem planos e estratégias mais eficientes, bem como aprender a lidar com multidões em situações de emergência.

## 7. Conclusões e trabalhos futuros

A determinação do tempo necessário para uma evacuação total de um edifício, seja qual for o cenário de incêndio, consiste num desafio considerável, pois o número de variáveis a considerar é enorme, sendo o valor de uma grande parte dessas variáveis desconhecido. Nos últimos anos o estudo deste problema tem tido grandes avanços, porém subsistem ainda áreas desconhecidas, por exemplo em relação ao comportamento humano em situações de emergência.

Os modelos numéricos e os vários simuladores que têm sido desenvolvidos, em particular nas últimas duas décadas, têm evoluído de forma significativa. Contudo, há ainda pouco conhecimento em relação aos dados de base necessários para validação e calibração desses modelos.

A solução apresentada, o mSPEED, pretende resolver os problemas identificados através de conjugação dos conceitos de Jogos Sérios, com Modelação e Simulação Social baseada em Agentes (ABMS). Este trabalho encontra-se em desenvolvimento no Laboratório de Inteligência Artificial e Ciências da Computação (LIACC) da Universidade do Porto, no âmbito de uma dissertação de Doutoramento, de que já resultaram três teses de Mestrado (concluídas) estando outras duas em curso, esperando-se que venha a trazer alguns avanços a esta área.

Dos trabalhos em curso espera-se obter uma contribuição significativa para a compreensão dos fenómenos associados à tomada de decisão pelos humanos, em situações de elevada tensão emocional, como são as que ocorrem durante a evacuação de edifícios decorrentes de um incêndio.

A recolha de dados comportamentais será realizada através de Jogos Sérios [17,18] e a partir de sensores [19]. Os elementos recolhidos serão analisados utilizando técnicas de prospeção comportamental, com o objetivo de se obterem regras sobre o comportamento humano na evacuação de edifícios. Estas serão posteriormente incorporadas numa ferramenta para tomada de decisão, o objetivo último deste trabalho e o projeto, denominada mSPEED.

O autor desta comunicação encontra-se a frequentar o Programa Doutoral em Engenharia Informática (ProDEI) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), tendo como orientadores o Prof. Doutor Rosaldo Rossetti e o Doutor Leça Coelho.

## Referências Bibliográficas

- [1] Almeida, J. E., Rossetti, R., & Coelho, A. L. (2011). Crowd Simulation Modeling Applied to Emergency and Evacuation Simulations using Multi-Agent Systems. In A. A. Sousa & E. Oliveira (Eds.), *DSIE'11 - 6th Doctoral Symposium on Informatics Engineering* (pp. 93–104). Engineering Faculty of Porto University.
- [2] Averill, J. D., & Mileti, D. S. (2005). *World Trade Center Disaster Occupant Behavior, Egress, and Emergency Communications* (No. NIST NCSTAR 1-7, WTC Investigation).
- [3] Seito, A. I., Gill, A. A., Pannoni, F. D., Ono, R., Silva, S. B. da, Carlo, U. D., & Silva, V. P. e. (2008). *A segurança contra incêndio no Brasil*. São Paulo: Projeto Editora. Projecto Editora, São Paulo.
- [4] SFPE. (2002). *SFPE handbook of fire protection engineering*. SFPE, NFPA, Quincy, MA.
- [5] Castle, C. J. E. (2007). *Guidelines for Assessing Pedestrian Evacuation Software Applications* (pp. 0–18). Centre for Advanced Spatial Analysis (UCL). doi:10.1103/PhysRevE.78.016110
- [6] Pan, X., Han, C. S., Dauber, K., & Law, K. H. (2007). A multi-agent based framework for the simulation of human and social behaviors during emergency evacuations. *Ai & Society*, 22(2), 113–132. doi:10.1007/s00146-007-0126-1
- [7] Okazaki, S., & Matsushita, S. (1993). A Study of Simulation Model for Pedestrian Movement. *First International Conference on Engineering for Crowd Safety* (pp. 271–280). London, England: Elsevier.
- [8] Helbing, D., & Molnar, P. (1995). Social force model for pedestrian dynamics. *Physical review E*. Retrieved from [http://pre.aps.org/abstract/PRE/v51/i5/p4282\\_1](http://pre.aps.org/abstract/PRE/v51/i5/p4282_1)
- [9] Shao, W., & Terzopoulos, D. (2005). Autonomous pedestrians. (K. Anjyo & P. Faloutsos, Eds.). *Proceedings of the 2005 ACM SIGGRAPH*.
- [10] Esteves, E. F., Rossetti, R. J. F., Ferreira, P. A. F., Oliveira, E. C. (2009) Conceptualization and implementation of a microscopic pedestrian simulation platform. In Sung Y. Shin, Sascha Ossowski (Eds.): *2009 ACM Symposium on Applied Computing (SAC)*, Honolulu, Hawaii, USA, March 9-12, 2009. ACM. pp.2105-2106.
- [11] Esteves, E. F., Rossetti, R. J. F., Oliveira, E. C. (2009). A Software Environment for Microscopic Pedestrian Simulation. In Vahid Nassehi, Diganta Bhusan Das, Lipika Deka (eds.): *ISC'2009, Industrial Simulation Conference*, Loughborough, United Kingdom, June 1-3, 2009. pp.173-177.
- [12] Aguiar, F., Rossetti, R. J. F., Oliveira, E. C. (2010). MAS-based Crowd Simulation Applied to Emergency and Evacuation Scenarios. *IEEE ITSC 2010 Workshop on Artificial Transportation Systems and Simulation (ATSS'2010)*, Madeira Island, Portugal, September 19, 2010.

- [13] Kuligowski, E. D., Peacock, R., & Hoskins, B. L. (2010). *A Review of Building Evacuation Models , 2nd Edition* (No. Technical Note 1680). Secretary. NIST.
- [14] Korhonen, T., & Hostikka, S. (2010). *Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS + Evac Technical Reference and User's Guide*. VTT Technical Research Centre of Finland.
- [15] Cordeiro, E., Coelho, A. L., Rossetti, R. J. F., & Almeida, J. E. (2011). Human Behavior Under Fire Situations – Portuguese Population. *2011 Fire and Evacuation Modeling Technical Conference*. Baltimore, Maryland, August 15-16,2011.
- [16] Cordeiro, E., Coelho, A. L., Rossetti, R. J. F., & Almeida, J. E. (2011). Human Behavior under Fire Situations – A case–study in the Portuguese Society. *ADVANCED RESEARCH WORKSHOP: Evacuation and Human Behavior in Emergency Situations* (pp. 63–80). Santander, Spain: GIDAI. Universidad de Cantabria.
- [17] Ribeiro, J., Almeida, J. E., Rossetti, R. J. F., Coelho, A., & Coelho, A. L. (2012). Using Serious Games to Train Evacuation Behaviour. *CISTI 2012 - 7a Conferencia Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información* (pp. 771–776). Madrid, España.
- [18] Ribeiro, J., Almeida, J. E., Rossetti, R. J. F., Coelho, A., & Coelho, A. L. (2012). Towards a serious games evacuation simulator. In K. G. Troitzch, M. Möhring, & U. Lotzmann (Eds.), *26th European Conference on Modelling and Simulation ECMS 2012* (pp. 697–702). Koblenz, Germany.
- [19] Vasconcelos, G., Petry, M., Almeida, J. E., Rossetti, R. J. F., & Coelho, A. L. (2012). Using UWB for Human Trajectory Extraction. *24th European Modeling & Simulation Symposium - EMSS 2012*. Vienna, Austria.