



Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia

**FEUP**

AGENTES E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL DISTRIBUÍDA

4º ANO DO MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA  
INFORMÁTICA E COMPUTAÇÃO

---

# *Simulação de Evacuação com Agentes*

Relatório de Implementação

---

*Estudantes:*

Gil DOMINGUES

- up201304646@fe.up.pt

Pedro PONTES

- up201305367@fe.up.pt

16 de Dezembro de 2016

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Contexto</b>	<b>3</b>
2.1	Cenário . . . . .	3
2.2	Objetivos . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Especificação</b>	<b>4</b>
3.1	Agentes . . . . .	4
3.2	Interações . . . . .	6
<b>4</b>	<b>Desenvolvimento</b>	<b>9</b>
4.1	Faseamento . . . . .	9
4.2	Ambiente de Desenvolvimento e Ferramentas . . . . .	9
4.3	Estrutura . . . . .	10
4.4	Detalhes de Implementação . . . . .	13
4.4.1	Agentes . . . . .	13
4.4.2	Ambiente . . . . .	21
<b>5</b>	<b>Experimentação</b>	<b>25</b>
<b>6</b>	<b>Conclusões</b>	<b>41</b>
<b>7</b>	<b>Possíveis Melhorias</b>	<b>41</b>
<b>8</b>	<b>Recursos</b>	<b>42</b>
8.1	Bibliografia . . . . .	42
8.2	Software . . . . .	42
<b>9</b>	<b>Apêndice</b>	<b>43</b>
9.1	Manual de Utilizador . . . . .	43
9.1.1	Desenho do mapa . . . . .	43
9.1.2	Especificação do mapa . . . . .	43
9.1.3	Especificação do cenário . . . . .	43
9.1.4	Utilização . . . . .	44

# 1 Introdução

Uma evacuação implica mover pessoas de um dado local devido à ocorrência de uma situação de (potencial) catástrofe. Exemplos incluem a evacuação de um edifício em chamas ou de uma localidade, antes, durante ou após um desastre natural, como uma cheia ou terramoto.

Evacuar grandes multidões é um desafio, independentemente das circunstâncias. Tipicamente, de uma evacuação de emergência resultam feridos - ou mesmo mortes -, devido ao caos e pânico que se geram.

Com o aumento da frequência de situações que implicam a evacuação de um elevado número de pessoas num curto espaço de tempo, existe uma consciência acrescida da importância do planeamento dessas situações.

Com efeito, a gestão e organização de multidões em situações de emergência tornou-se uma importante área de estudo ao longo dos últimos anos e desempenha, hoje, um papel importante no planeamento de um edifício ou área.

Dados os desafios - quer de ordem prática, quer de ordem financeira - que a realização de simulacros coloca, é cada vez mais comum o uso de técnicas de simulação para estudar estas situações. De facto, existem já diversos tipos de sistemas, como as simulações baseadas na dinâmica de fluídos, as simulações baseadas em autómatos e as simulações baseadas em agentes.

## 2 Contexto

### 2.1 Cenário

Ocorreu um incêndio, uma inundação, a libertação de um gás nocivo, um qualquer acidente que obriga à evacuação daqueles presentes num dado local. O local possui múltiplas saídas de emergência e também obstáculos. Os indivíduos encontram-se distribuídos pelo local, ocupados nas suas tarefas usuais. Aquando da deteção do acidente, todos os indivíduos procuram atingir uma das saídas de emergência, o mais rapidamente possível.

Alguns agentes poderão ser altruístas, no sentido de ajudarem acidentados a deslocarem-se até à saída, outros poderão simplesmente querer «salvar a pele», exibindo um comportamento mais egoísta. Alguns poderão conhecer bem o local e, como tal, chegar rapidamente à saída, outros poderão demorar mais ou mesmo perder-se, tendo que pedir ajuda.

### 2.2 Objetivos

Realizado no âmbito da unidade curricular de Agentes e Inteligência Artificial Distribuída, com este projeto pretendia desenvolver-se um programa que permitisse simular a interação de agentes confinados a um espaço concreto e limitado perante a necessidade de evacuar esse espaço, podendo o utilizador definir diferentes cenários, especificando, por um lado, o tipo, número e localização dos agentes a evacuar e, por outro, o número e localização de saídas de emergência e obstáculos.

## 3 Especificação

### 3.1 Agentes

Podem distinguir-se dimensões distintas no comportamento exibido durante uma evacuação: por um lado, o espaço a evacuar e a sua configuração, e, por outro lado, as características psicológicas e sociais que afetam a resposta dos que participam na evacuação.

Assume-se que, em situações de emergência, os indivíduos entram em pânico e ficam, por isso, propensos a tomar decisões irracionais. Mais ainda, as pessoas tentam mover-se tão depressa quanto possível, devendo evitar obstáculos.

Adicionalmente, tem-se que os agentes implementados são autónomos e proativos, sendo caracterizados por diversos atributos, descritos na Tabela 1.

Atributos	Tipo	Descrição
idade	int	[5, 65]
género	Enum	{Masculino, Feminino}
conhecimento da área	int	[0, 100] probabilidade de seguir o melhor caminho até uma saída
independência	int	[0, 100] probabilidade de seguir (ou não) outros
altruísmo	int	[0, 100] probabilidade para ajudar outros
mobilidade	int	[0, 100] condiciona a probabilidade de se mover num dado instante
estado de pânico	int	[0,100] afeta o discernimento da pessoa
paciência	int	[0,100] determina a probabilidade de reagir de intempestivamente

Tabela 1: Atributos dos agentes implementados, que condicionam os seus comportamentos.

Em função dos atributos de independência e de conhecimento da área, considerou-se a categorização dos agentes em quatro estereótipos, de acordo com o descrito na Tabela 2.

Tipo	Atributos	
	independence	areaKnowledge
▲ IndependentKnowledgeable	[50, 100]	[50, 100]
▲ IndependentUnknowledgeable	[50, 100]	[0, 50]
● DependentKnowledgeable	[0, 50]	[50, 100]
● DependentUnknowledgeable	[0, 50]	[0, 50]

Tabela 2: Diferentes tipos de agente, de acordo com os valores possíveis para os atributos considerados.

Esta classificação permitiu a definição, ao nível de interface, de diferentes representações para os vários tipos de agente, permitindo estabelecer visualmente a relação entre o tipo de agente e os seus comportamentos.

Comportamento	Descrição
Mecanismo de Movimento	A cada momento um agente deve usar o seu conhecimento da área e mover-se em direção à saída.
Mecanismo de Pânico	A cada momento um agente atualiza o seu estado de pânico de acordo com a sua condição e o ambiente envolvente.
Sentido de Altruísmo	A cada momento um agente monitoriza o ambiente envolvente e decide responder ou ignorar pedidos de ajuda de outros agentes.
Pedido de Direções	Um agente toma, por ser pouco independente ou ter pouco conhecimento da área, pede direções a agentes na sua proximidade.
Pedido de Ajuda	Um agente incapaz de se mover de forma autónoma pede ajuda aos agentes na sua proximidade.

Tabela 3: Comportamentos dos agentes.

## 3.2 Interações

A comunicação entre agentes foi implementada recorrendo a mensagens *JADE*, obedecendo aos protocolos *FIPA*.

Dado que todos os agentes se encontram, a cada momento, numa dada posição de um espaço, cada agente pode tomar conhecimento daqueles que o rodeiam, sendo possível obter os seus *AID*'s usando a noção de proximidade.

Excerto 1: Código *Java* ilustrando a possibilidade de uma pessoa poder descobrir outras.

```
// find people in the surrounding area
ArrayList<AID> peopleNear = environment.findNear(myAgent);
if(peopleNear.isEmpty()) {
    return;
}
```

Os vários agentes assumem uma atitude mais ou menos cooperativa, em função dos atributos altruísmo e independência, e partilham um objetivo comum: chegar a uma saída.

Com vista a simular de forma algo fidedigna as condições de uma evacuação de emergência, foram implementadas as seguintes interações entre agentes:

- Terror;

Um agente cujo nível de pânico sobe acima de um certo nível envia uma mensagem *PROPAGATE* para agentes na proximidade.

Aqueles que recebem esta mensagem, podem, ou não, propagar a mensagem e aumentam o seu estado de pânico - variação que depende de diversos fatores: assumiu-se que as pessoas mais independentes são menos influenciáveis pelos gritos dos outros enquanto os mais jovens ou mais idosos são mais impressionáveis.

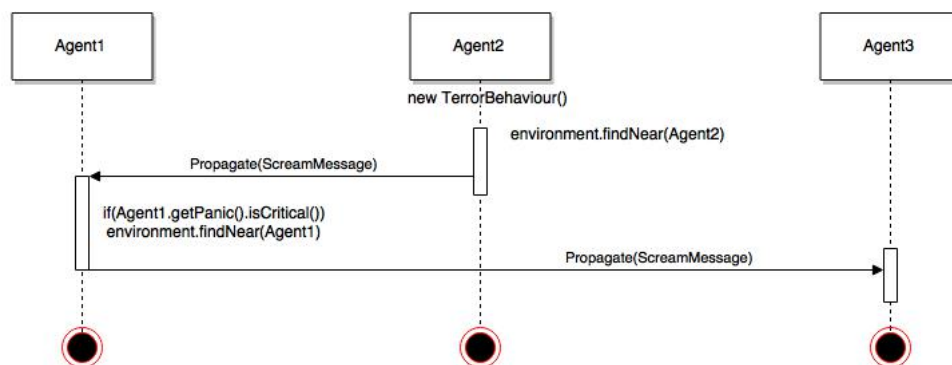


Figura 1: Diagrama de sequência exemplificando uma interação do tipo Terror.

- Orientação;

Duas pessoas podem partilhar conhecimento sobre a área, mediante um pedido nesse sentido. Um agente que tenha pouco conhecimento da área pode enviar a um agente ao seu redor uma mensagem *CFP*, a que esse agente responde com uma dada probabilidade - dependente do valor do atributo altruísmo. A resposta consiste numa mensagem *INFORM*, com o valor do seu conhecimento da área, *conhecimento1*. Por forma a simular a aquisição de informação, o agente que fez o pedido atualizará o seu nível de conhecimento da área, *conhecimento2*, de acordo com:

$$conhecimento2 = \max(conhecimento2, conhecimento1 * FAC)$$

onde FAC representa um fator de aquisição de conhecimento, de valor configurável, que visa simular as perdas de informação típicas numa troca de informações.

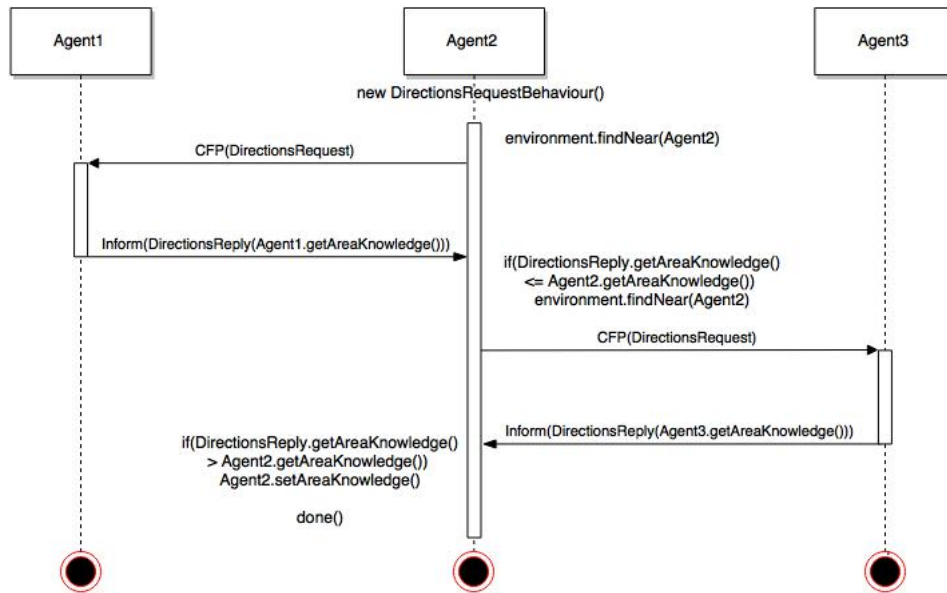


Figura 2: Diagrama de sequência exemplificando uma interação do tipo Orientação.

- Ajuda.

Um agente pode pedir ajuda, enviando uma mensagem *CFP* para agentes ao seu redor. Os agentes na disposição de ajudar podem oferecer a sua ajuda, enviando uma mensagem *PROPOSAL*, com o valor da sua mobilidade, *mobilidade1*.

O autor do pedido de ajuda aceita a melhor oferta, respondendo com uma mensagem *ACCEPT\_PROPOSAL*, com o valor da sua mobilidade, *mobilidade2*, rejeitando as demais ofertas com uma mensagem *REJECT\_PROPOSAL*. O agente que ofereceu ajuda passa a guiar o outro até à saída, sendo a mobilidade de cada um dada por:

$$mobilidade1 = mobilidade2 = \frac{mobilidade1 + mobilidade2}{2}$$

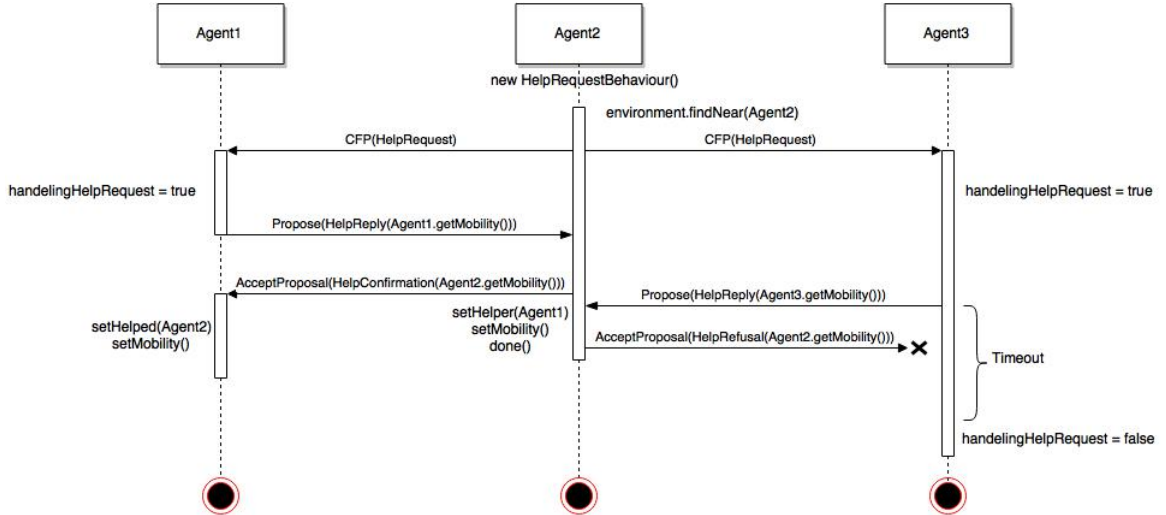


Figura 3: Diagrama de sequência exemplificando uma interação do tipo Ajuda.

Como pode constatar-se, estes protocolos são relativamente simples. De referir, ainda, que as interações Ajudar e Orientar são efetuadas de acordo com o modelo de Rede Contratual, sendo que, no caso, o papel de gestor cabe ao agente que faz o pedido inicial.



## 4 Desenvolvimento

### 4.1 Faseamento

A implementação do projeto executou-se em diferentes etapas:

1. Especificação e planeamento (23 de outubro a 1 de novembro);
2. Implementação de:
  - (a) Agente (25 de outubro a 5 de novembro);
  - (b) Espaço (5 de novembro a 25 de novembro);  
Teste e análise do comportamento de um agente num espaço.
  - (c) Interação entre agentes (5 de novembro a 5 de dezembro);  
Teste e análise do comportamento de vários agentes num espaço.
3. Exploração de diferentes cenários e recolha e avaliação de métricas (1 de dezembro a 11 de dezembro).

### 4.2 Ambiente de Desenvolvimento e Ferramentas

O desenvolvimento decorreu em ambiente *Windows* 10 e usando a versão *Neon* do *IDE Eclipse*, tendo-se feito uso das ferramentas *JADE*, *Repast Symphony* e *SAJaS*.

**JADE:** Definição de agentes.

**Repast Symphony:** Simulação multiagente.

**SAJaS:** Integração de agentes *JADE* com *Repast*.

O *Repast* é uma *framework open-source* que permite criar, analisar e experimentar com mundos artificiais populados por agentes que interagem de forma não trivial.

Concretamente, utilizou-se a sua mais recente versão - *Repast Symphony*, que permite programar em *Java* a estrutura espacial, a estrutura lógica e os comportamentos dos agentes.

Tem sido amplamente utilizado em aplicações de simulação, e, no caso, considerou-se de particular utilidade, por um lado, a capacidade de definir e lidar com estruturas espaciais e, por outro, a recolha de métricas associadas às simulações realizadas. Por último, tem-se a vantagem de poder acompanhar, de forma visual, o decorrer da simulação.

Adicionalmente, utilizou-se a *API SAJaS*, que possibilitou a integração de agentes *JADE* com *Repast*, permitindo definir os comportamentos de agentes e fazer uso das capacidades de comunicação entre agentes, visando simular as interações expectáveis num cenário de evacuação.

### 4.3 Estrutura

A aplicação pode, a nível lógico, dividir-se em diferentes módulos, com responsabilidades distintas.

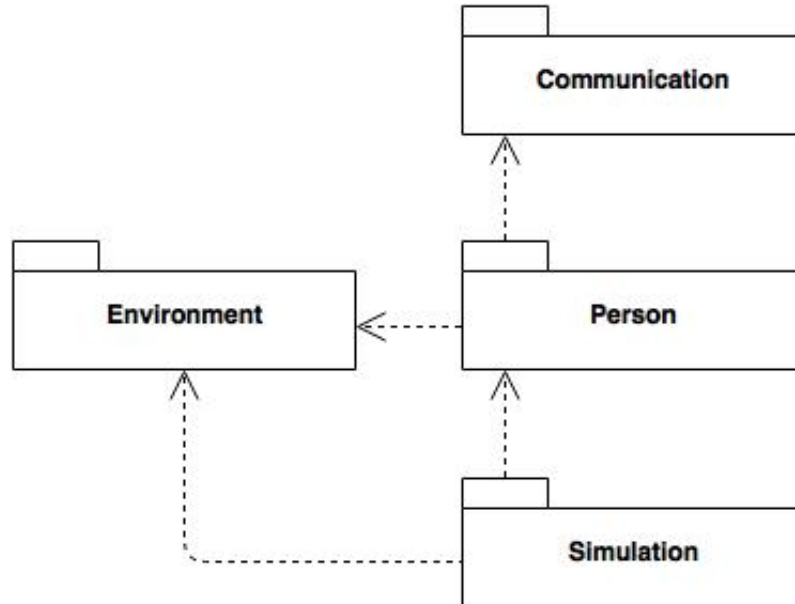


Figura 4: Diagrama ilustrativo da estrutura lógica do projeto.

O módulo *Simulation* é responsável, por um lado, pela configuração da simulação, no que diz respeito às ferramentas usadas - *Repast*, *JADE* e *SAJaS* -, e, por outro lado, pela definição do cenário da simulação - tanto o espaço como a população a evacuar.

Adicionalmente, inclui a componente de recolha de estatísticas da simulação - *ResultsCollector* -, implementado como um agente, cuja função é receber dados relativos à evacuação de cada uma das pessoas evacuadas.

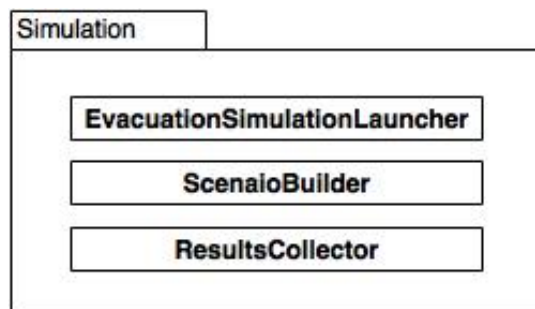


Figura 5: Classes do módulo *Simulation*.

O módulo *Environment* contempla tudo o que se relaciona com a definição da estrutura espacial da simulação, bem como a sua configuração.

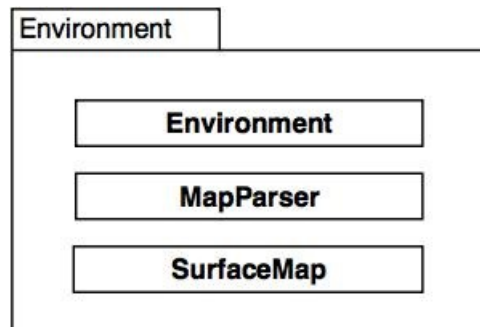


Figura 6: Classes do módulo *Environment*.

O módulo *Person* é formado pela classe *Person* - subclasse de *Agent* e onde são definidos os atributos e comportamentos de uma pessoa -, bem como as suas várias subclasses.

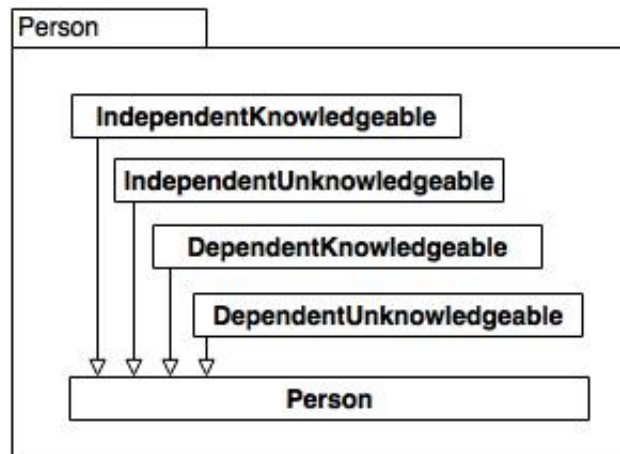


Figura 7: Classes do módulo *Person*.

O módulo *Communication* é formado pelas classes usadas na implementação da comunicação entre agentes. Estas classes são tipos de mensagens trocadas em interações entre agentes, e caracterizam a *SimulationOntology*.

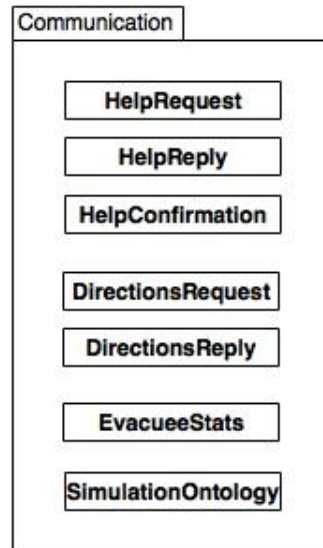


Figura 8: Classes do módulo *Communication*.

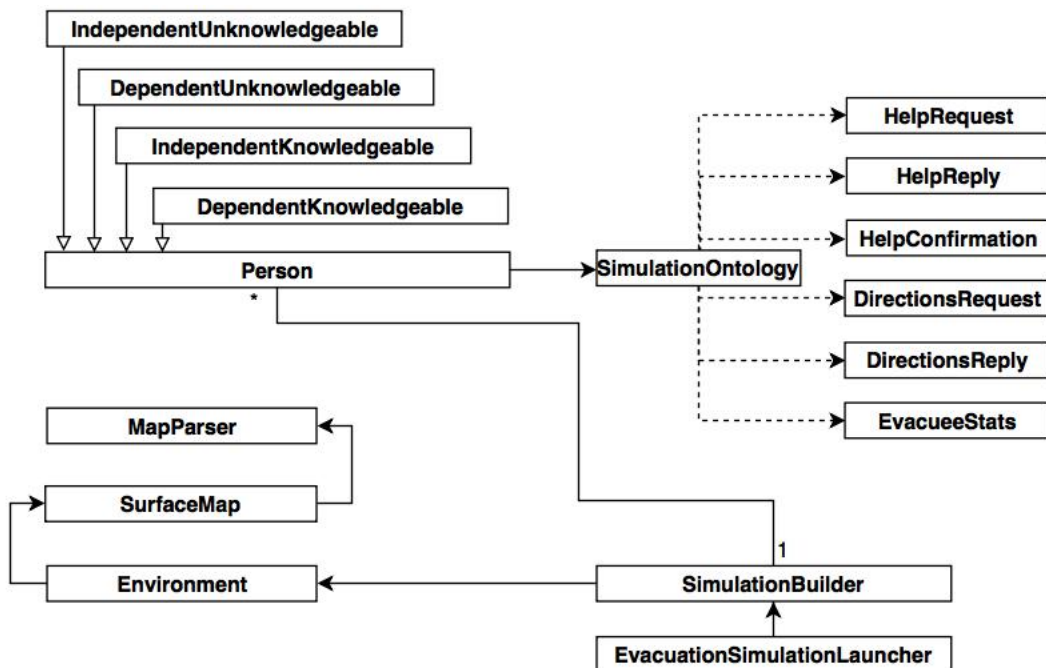


Figura 9: Diagrama de classes do projeto (simplificado).

## 4.4 Detalhes de Implementação

### 4.4.1 Agentes

- **Atributos**

Conforme descrito na especificação, os agentes encontram-se definidos por um conjunto de atributos. Na definição da variação de alguns dos atributos usados, partiu-se de alguns pressupostos:

- **Pânico**

Assumiu-se que o pânico de uma pessoa pode aumentar - por exemplo, como resultado de um empurrão - ou diminuir - por exemplo, quando recebe ajuda por parte de outra pessoa.

Mais ainda, tem-se que o pânico aumenta mais depressa do que diminui e, no cálculo dessa variação considerou-se que as pessoas mais independentes têm uma reação mais moderada, i.e., veem o seu nível de pânico variar de forma mais comedida. Pelo contrário, jovens e pessoas de idade mais avançada reagem de forma mais pronunciada, isto é, veem o seu nível de pânico variar de forma errática.

Numa tentativa de aproximar a simulação daquilo que seria observável numa situação real, considerou-se que o pânico condiciona a capacidade de uma pessoa usar o seu conhecimento da área para escolher um caminho até à saída. Por outro lado, fez-se igualmente depender do estado de pânico de uma pessoa a probabilidade de empurrar alguém que se encontra no caminho que pretende seguir.

- **Mobilidade**

No que diz respeito à mobilidade, consideram-se apenas variações negativas - por exemplo, provocadas por empurrões -, sendo que aquelas mais jovens ou de idade mais avançada verão a sua mobilidade diminuir de forma mais rapidamente.

Não obstante, a mobilidade de uma pessoa pode ser temporariamente aumentada, sempre que uma pessoa for ajudada por outra. Se, por motivo de um empurrão ou morte, essa ajuda terminar, a mobilidade da pessoa é restaurada para o seu valor anterior.

Da mobilidade de uma pessoa depende a probabilidade de, a cada instante, uma pessoa se mover. A mobilidade restringe, ainda, o altruísmo de uma pessoa, limitando a resposta a pedidos de ajuda recebidos.

- **Conhecimento da área**

O conhecimento da área pode variar, aumentando apenas por meio da partilha de informação com outras pessoas.

O conhecimento da área condiciona a probabilidade de um agente de, a cada instante, selecionar o melhor caminho na direção da saída.

– Paciência

Considerou-se que a paciência de uma pessoa oscila, aumentando - por exemplo, quando o agente vê o seu caminho escolhido obstruído por outro agente - ou diminuindo - por exemplo, quando o agente consegue mover-se com sucesso - de acordo com um valor predefinido e configurável.

A paciência de uma pessoa influencia a forma como o caminho a seguir é selecionado: se o caminho selecionado estiver bloqueado por outra pessoa e não se quiser empurrá-la, pode esperar-se por um tempo razoável, até que essa pessoa desobstrua a passagem (reduzindo a paciência a cada tentativa de movimento), ou, esgotada a paciência, escolher um outro caminho disponível.

Adicionalmente, definiram-se algumas funções, que traduzem a influência do pânico sobre outros atributos:

Excerto 2: Código *Java* de funções que traduzem a influência do pânico sobre o altruísmo e cohecimento de área.

---

```
public int getAltruisticFeeling() {
    return altruism - panic / 5;
}

public int getUsableKnowledge() {
    return areaKnowledge - panic / 5;
}
```

---

De referir que, para todos os atributos, sempre que é feita uma atribuição - por meio do uso de um método *setAtributo(novoValor)*, o valor desse atributo é atualizado para o novo valor apenas se respeitar os limites definidos.

Excerto 3: Código *Java* da função que assegura que os vários atributos respeitem os limites definidos.

---

```
int enforceBounds(int attribute) {
    if(attribute > MAX_SCALE){
        return MAX_SCALE;
    }else if(attribute < MIN_SCALE){
        return MIN_SCALE;
    }else{
        return attribute;
    }
}
```

---

- **Mecanismo de Pânico**

Pela especificação, um agente cujo nível de pânico sobe acima de um certo nível envia uma mensagem *PROPAGATE* para agentes na proximidade, sempre que atualiza o seu nível de pânico.

Excerto 4: Código *Java* responsável pelo envio de um grito.

---

```
ACLMessage msg = receive(template);
if(msg!= null) {
    if(msg.getContent().equals(SCREAM_MESSAGE)){
        increasePanic();
    }
}
```

---

Aqueles que recebem esta mensagem, podem, ou não, propagar a mensagem e aumentam o seu estado de pânico - variação que depende de diversos fatores: assumiu-se que as pessoas mais independentes são menos influenciáveis pelos gritos dos outros enquanto os mais jovens ou mais idosos são mais impressionáveis.

- **Partilha de Direções**

Conforme a especificação, duas pessoas podem partilhar conhecimento sobre a área, mediante um pedido nesse sentido.

A cada instante, um agente que tenha pouco conhecimento da área pode - com uma probabilidade inversamente proporcional a esse conhecimento - enviar a um agente ao seu redor uma mensagem *CFP*.

Excerto 5: Código *Java* da função responsável pelo envio de um pedido de direções.

---

```
boolean sendDirectionsRequest() {
    ArrayList<AID> peopleNear = environment.findNearAgents(myAgent,
        REQUEST_DISTANCE);
    if(peopleNear.isEmpty()) {
        return false;
    }

    ACLMessage directionsRequest = new ACLMessage(ACLMessage.CFP);
    directionsRequest.addReceiver(peopleNear.get(0));
    DirectionsRequest requestMessage = new DirectionsRequest();
    getContentManager().fillContent(directionsRequest,
        requestMessage);
    send(directionsRequest);

    return true;
}
```

---

O agente a quem foram pedidas direções responde com uma mensagem *INFORM* ou *REFUSE*, com uma dada probabilidade, associada ao seu altruísmo.

Excerto 6: Código *Java* da função responsável pela receção de pedidos de direções.

---

```
void handleDirectionsRequest(ACLMessage request) {
    ACLMessage reply = request.createReply();

    if(RandomHelper.nextIntFromTo(MIN_SCALE, MAX_SCALE) <
        getAltruisticFeeling()) {
        reply.setPerformative(ACLMessage.INFORM);
    }else{
        reply.setPerformative(ACLMessage.REFUSE);
    }

    DirectionsReply replyMessage = new DirectionsReply(areaKnowledge);
    getContentManager().fillContent(reply, replyMessage);
    send(reply);
}
```

---

O agente que pediu direções atualiza o seu conhecimento da área.

Excerto 7: Código *Java* da função responsável pela receção de respostas a um pedido de direções.

---

```
void receiveReply() {
    ACLMessage msg = receive(template);
    if(msg == null) {
        return;
    }

    if(msg.getPerformative() == ACLMessage.INFORM) {
        int previousKnowledge = areaKnowledge;
        int knowledgeReceived = ((DirectionsReply)
            getContentManager().extractContent(msg)).getKnowkledge();

        setAreaKnowledge(Integer.max((int) (knowledgeReceived *
            KNOWLEDGE_ACQUISITION_FACTOR), areaKnowledge));

        if(previousKnowledge < areaKnowledge){
            newDirections = true;
        }else{
            previousReplies.add(msg.getSender());
        }
    }else if(msg.getPerformative() == ACLMessage.REFUSE){
        newDirectionsRequested = false;
    }
}
```

---



- Ajuda

Seguindo a especificação, uma pessoa com mobilidade reduzida pode pedir ajuda a outra na sua proximidade.

A cada instante, um agente que tenha pouca mobilidade da área pode - com uma probabilidade inversamente proporcional a essa mobilidade - enviar aos agentes ao seu redor uma mensagem *CFP*.

---

Excerto 8: Código *Java* de envio de um pedido de ajuda.

---

```
boolean sendRequest() {
    ArrayList<AID> peopleNear = environment.findNearAgents(myAgent);
    if(peopleNear.isEmpty()) {
        return false;
    }

    ACLMessage helpRequest = new ACLMessage(ACLMessage.CFP);
    for(AID person : peopleNear)
        helpRequest.addReceiver(person);

    helpRequest.setLanguage(codec.getName());
    helpRequest.setOntology(serviceOntology.getName());

    HelpRequest requestMessage = new HelpRequest();
    getContentManager().fillContent(helpRequest, requestMessage);
    send(helpRequest);

    return true;
}
```

---

Os agentes a quem foi pedida ajuda respondem com uma mensagem *ACCEPT\_PROPOSAL* ou *REJECT\_PROPOSAL*, com uma dada probabilidade, associada ao seu altruísmo.

Excerto 9: Código *Java* da função responsável pela receção de pedidos de direções.

---

```
void handleHelpRequest(ACLMessage request){
    if((helped != null || handlingHelpRequest) &&
        RandomHelper.nextIntFromTo(MIN_SCALE, MAX_SCALE) <
        getAltruisticFeeling()
        && getMobility() > getMobilityHelpResponseThreshold()) {
        ACLMessage reply = request.createReply();
        reply.setPerformative(ACLMessage.PROPOSE);
        HelpReply replyMessage = new HelpReply(mobility,
            areaKnowledge);
        getContentManager().fillContent(reply, replyMessage);
        send(reply);
    }
}
```

---

O agente que pediu ajuda regista as propostas, e, após algum tempo, seleciona a melhor das propostas e envia uma confirmação.

Excerto 10: Código *Java* das funções responsáveis pela receção e confirmação de propostas de ajuda.

---

```
boolean receiveReplies() {
    ACLMessage msg = receive(template);

    if(msg != null) {
        HelpReply proposal = (HelpReply)
            getContentManager().extractContent(msg);
        proposal.setProposerAID(msg.getSender());
        proposals.add(proposal);
    }else{
        nAttempts++;
    }
    return nAttempts < MAX_ATTEMPTS;
}

void acceptBestProposal() {
    proposals.sort();
    HelpReply bestProposal = proposals.get(0);
    proposals.remove(bestProposal);

    ACLMessage msg = new ACLMessage(ACLMessage.ACCEPT_PROPOSAL);
    msg.addReceiver(bestProposal.getProposerAID());
    msg.setLanguage(codec.getName());
    msg.setOntology(serviceOntology.getName());
    HelpConfirmation confirmationMessage = new
        HelpConfirmation(mobility, areaKnowledge);
    getContentManager().fillContent(msg, confirmationMessage);
    send(msg);
    decreasePanic();

    Person helper =
        environment.findAgent(bestProposal.getProposerAID());
    setHelper(helper);
    shareMobility(bestProposal.getMobility());
    setAreaKnowledge(Integer.max(areaKnowledge,
        bestProposal.getAreaKnowledge()));

    if(!proposals.isEmpty()) {
        msg.setPerformative(ACLMessage.REJECT_PROPOSAL);
        for(HelpReply proposal: proposals) {
            msg.addReceiver(proposal.getProposerAID());
        }
        send(msg);
    }
}
```

---

- **Empurrões**

No contexto do problema, designou-se por «empurrão» a interação entre duas pessoas em que uma das pessoas, ao tentar mover-se, tem alguém à sua frente e decide removê-la do seu caminho à força, «empurrando-a».

Na circunstância de o caminho selecionado se encontrar obstruído, um agente pode - conforme o seu estado de pânico ou impaciência - «empurrar» o agente que está a provocar esse bloqueio.

Efetivamente, o «empurrão» consiste na troca de posições entre dois agentes. O agente que é «empurrado» vê a sua mobilidade reduzida e o seu nível de pânico aumentar. Se o agente empurrado estiver a ajudar ou a ser ajudado por outro, essa relação de ajuda é terminada.

Excerto 11: Código *Java* da função que permite a uma pessoa «empurrar» outra.

---

```
void push(int selectedX, int selectedY) {
    Person person = environment.userInCell(selectedX, selectedY);
    if(person == null || (selectedX == x && selectedY == y)){
        return;
    }

    boolean isPush = helped!=null ?
        !person.getAID().equals(helped.getAID()) : true;
    if(isPush){
        if(person.getHelper() != null){
            person.getHelper().setHelpee(null);
            setHelper(null);
        }else{
            if(person.getHelpee() != null){
                person.getHelpee().setHelper(null);
                setHelpee(null);
            }
            person.increasePanic();
        }
        person.decreaseMobility();
    }

    if(RandomHelper.nextIntFromTo(MIN_SCALE, MAX_SCALE) > altruism) {
        person.decreasePatience();
    }

    person.moveTo(x, y);
    moveTo(selectedX, selectedY);
}
```

---

De notar que, para esta interação, não existe troca de mensagens entre os agentes, por se considerar esta aproximação mais próxima do que seria observável numa situação real.

- **Movimento**

O movimento é o comportamento base de todas as pessoas, sendo este afetado por muitos dos atributos de cada pessoa, nomeadamente a mobilidade, o conhecimento da área, a independência, o estado de pânico e a paciência. Os atributos são interpretados como uma probabilidade de, naquela iteração do comportamento de movimento, ser atribuída à pessoa uma determinada característica: por exemplo, um agente com conhecimento de área de 70 tem 70% de probabilidade de, naquela iteração, conhecer a área.

A cada iteração do movimento uma pessoa escolhe uma célula para a qual se deslocará, tendo em conta as características que lhe forem atribuídas nessa iteração.

O movimento está limitado para as células a norte, sul, este e oeste da célula onde a pessoa se encontra atualmente. Há quatro formas distintas de escolher o caminho a seguir:

- **Melhor Caminho**

Caso a pessoa conheça a área e o seu conhecimento não esteja muito afetado pelos seus níveis de pânico, seguirá no melhor caminho até à saída mais próxima.

A célula para onde a pessoa se deslocará é determinada identificando as células a norte, sul, este e oeste da célula onde a pessoa se encontra no momento e ordenando essas células por ordem crescente de distância. A célula com um valor de distância menor é a melhor para a pessoa ocupar, ou seja, a primeira célula nesta listagem corresponde à melhor célula para onde a pessoa se pode deslocar.

Se os níveis de pânico da pessoa afetarem significativamente o conhecimento da área da pessoa, ela seguirá um movimento aleatório.

- **Saída Visível**

Se a pessoa não conhece a área mas tem uma linha de visão desobstruída para uma das saídas, seguirá em direção a essa saída, sendo esta a saída mais próxima ou não. A cada movimento, a pessoa tem o cuidado de se movimentar para uma célula que permita que a linha de visão entre ela e a saída se mantenha.

Este método assume que a pessoa consegue ver uma saída a qualquer distância, desde que o caminho em linha reta entre ela e a saída não tenha nenhum obstáculo no caminho. Se a pessoa vir muitas saídas a partir da mesma posição, seguirá em direção à saída mais próxima que ela consiga ver.

- **Seguir Multidões**

Uma pessoa que for dependente, não conheça a área e não vir uma saída terá tendência a seguir na direção em que vir o maior número de pessoas a deslocar-se.

Para o conseguir, a pessoa procura todas as pessoas na sua vizinhança e associa cada direção a uma probabilidade.

$$P(Direção) = \frac{N_{DireçãoNaVizinhança}}{T_{PessoasVizinhança}}$$

A pessoa terá, portanto, uma probabilidade  $P(Direção)$  de seguir numa certa direção.

– **Movimento Aleatório**

Caso nenhuma das condições anteriores se verifique, i. e., se a pessoa não conhecer a área, for independente e não vir uma saída, identificará todas as células adjacentes que constituam movimentos válidos e escolherá uma de forma aleatória.

De forma a tentar forçar um movimento minimamente coerente, uma pessoa não pode deslocar-se para a célula onde esteve na iteração anterior de movimento, salvo quando este revela ser o melhor caminho.

Caso uma pessoa se tente deslocar para uma célula já ocupada, verifica-se qual o valor de paciência dela nesse instante. Se o valor estiver acima de um determinado nível, a pessoa mantém-se na mesma célula e vê a sua paciência a diminuir. Se a paciência descer abaixo de um certo nível, a pessoa escolherá um outro caminho de modo a contornar quem está na célula para a qual a pessoa se queria mover.

Este comportamento tenta, portanto, ser uma aproximação minimamente realista do que seria o movimento de uma pessoa numa situação de elevado *stress*, tendo em conta diversos fatores que condicionam a sua tomada de decisão.

#### 4.4.2 Ambiente

A representação do espaço é feita com recurso a múltiplas estruturas de dados, designadamente, uma *Grid* - classe disponibilizada pelo *Repast* - que contém os agentes, um *array* bidimensional de caracteres com as posições das saídas e das paredes/obstáculos e um *array* bidimensional de inteiros com um mapa de distâncias.

Um utilizador tem a liberdade de indicar, na interface da simulação, um ficheiro com a configuração do ambiente onde estarão necessariamente definidas as posições das saídas e das paredes/obstáculos.

Não é permitido que haja mais que uma entidade/agente numa célula, com a excepção das saídas, onde é possível estarem simultaneamente múltiplos agentes.

– **Mapa de obstáculos e saídas**

Este mapa é representado como um *array* bidimensional com caracteres que representam as saídas, paredes/obstáculos ou espaços livres, nas posições em que estão definidas no ficheiro de configuração. Esta representação é usada tanto para a criação do mapa de distâncias como

para determinar, em *runtime*, se uma célula contém um obstáculo ou uma saída.

```

WWWWEEWWWWWWWWWW
W          W
W          W
W    W    W
W    W    W
W   WW    WWWWWWWW
W    W    W
W          W
W          W
W          W
W          W
W    WWW   W    W
W    WWW   W    E
W    WWW   W    E
W          W    W
W          W    W
WEEWWWWWWWWWW

```

Figura 10: Representação visual do conteúdo do mapa de obstáculos e saídas.

#### – Mapa de distâncias

Antes da execução da simulação, no momento em que o mapa é carregado, é construído um mapa com as distâncias até às saídas.

Este é obtido usando um algoritmo, semelhante a *flooding*, que, começando a partir de cada saída, se propaga, colocando o valor atual de distância a essa saída nas células, parando de se propagar num certo sentido caso encontre uma célula já preenchida com um valor inferior ao valor que seria colocado ou caso encontre um obstáculo.

Excerto 12: Pseudo-código do algoritmo usado para o preenchimento do mapa de distâncias.

---

```

generateDistanceMap() {
    distanceMap; // Mapa de distancias

    for(exit in exitsList){
        distance = 1;
        toVisit;    // Array com celulas a visitar
        visited;    // Array com celulas ja visitadas
        futureToVisit; // Array com celulas a ser visitadas no
                       futuro
        toVisit.add(exit);

        while( !toVisit.empty() ) {

            for(cell in toVisit){

                for(cardinal in cardinalPoints){ // Por cada ponto
                    cardeal ver celula adjacente
                    if(cell.cardinal == ' ' and
                       !visited.contains(cell.cardinal)){ // Verifica
                       se a celula adjacente corresponde a um espaco
                       livre e ainda nao foi visitada

```

```

        if(distance < distanceMap.get(cell.cardinal)){
            // Se a distancia atual for mais baixa que
            // a distancia que a celula ja tinha
            futureToVisit.add(cell.cardinal);
            distanceMap.set(cell.cardinal, distance);
        }
        visited.add(cell.cardinal);
    }
}
}
toVisit = futureToVisit;
futureToVisit.clear();
distance++;
}
return distanceMap;
}

```

Este pré-processamento do melhor caminho até à saída mais próxima, a partir de cada célula, é uma abordagem válida, tendo em conta que se considerou o ambiente como sendo estático. Revela também ter um desempenho consideravelmente melhor do que se fosse usado um algoritmo de *path finding* a cada tentativa de movimento.



Figura 11: Representação visual do conteúdo do mapa de distâncias<sup>1</sup>.

### – Grid

<sup>1</sup>Nota: Cores usadas meramente com o propósito de facilitar a compreensão da figura. Na representação do mapa de distâncias não há nenhuma indicação explícita de qual é a saída mais próxima, essa informação é extraída a partir dos valores nas células vizinhas.

Apesar de não ser apresentado na figura, as paredes contém valor -1.

Para o ambiente ter uma representação visual na interface de simulação, é necessário o uso de uma *Grid*, sendo que esta contém todos os agentes, obstáculos e saídas.

A *Grid* permite que um agente conheça a sua vizinhança, tornando possível usar a proximidade física entre agentes como um factor para os comportamentos entre estes. É também através desta *Grid* que se pode observar o movimento dos agentes pelo espaço, contornando obstáculos e tentando atingir as saídas.

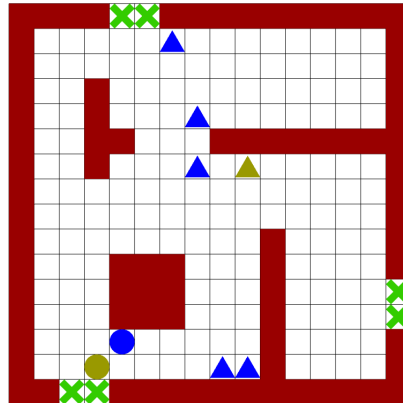


Figura 12: Representação da *Grid* na interface da simulação, já com alguns agentes inseridos.



## 5 Experimentação

Ao longo do processo de desenvolvimento foram levadas a cabo múltiplas experiências, com vista a testar a implementação dos agentes. Nestas simulações foi usado um *tick delay* de 60.

- **Evacuação simples**

**Objetivo:** Testar se um agente é capaz de atingir a saída.

**Cenários:** *exp1\_1.xml*, *exp1\_2.xml*, *exp1\_3.xml*, *exp1\_4.xml*

**Mapa:** *testMap\_wall.map*

Esta experiência consistiu na colocação, numa dada posição de um espaço pré-definido, de um agente de um certo tipo, de forma a que este não veja a saída, tendo-se analisado o seu comportamento e medido o tempo que decorreu até que chegassem à saída.

Tabela 4: Tempos de evacuação em função do tipo de agente usado.

Tipo de agente	Tempo de evacuação
IndependentKnowledgeable	82 ticks
IndependentUnknowledgeable	212 ticks
DependentKnowledgeable	82 ticks
DependentUnknowledgeable	334 ticks

Como esperado, observou-se que os agentes com maior conhecimento da área demoraram menos tempo a chega à saída.

Dado que, nesta fase, se utilizou apenas um agente de cada tipo em cada simulação, o atributo independência não se reflete no desempenho do agente, tendo-se observado tempos de evacuação semelhantes para os agentes dos tipos *IndependentKnowledgeable* e *DependentKnowledgeable*.

O mesmo não foi observado no caso dos agentes de tipos *DependentKnowledgeable* e *DependentUnknowledgeable*, devido ao carácter estocástico das simulações.

- **Visibilidade da Saída**

**Objetivo:** Testar se um agente se dirige para a saída visível.

**Cenários:** *exp5\_1.xml*, *exp5\_2.xml*

**Mapa:** *map5.map*

Esta experiência consistiu na execução de dois cenários, um composto por um agente com elevado conhecimento da área e outro composto por um agente com

diminuto conhecimento da área, num ambiente composto por duas saídas, uma em cada extremidade do mapa, sendo que o agente consegue ver a saída mais afastada mas não a saída mais próxima:

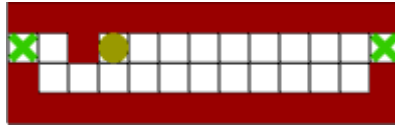


Figura 13: Representação visual da experiência de visibilidade.

Tabela 5: Tempos de evacuação em função do tipo de agente usado.

Tipo de agente	Tempo de evacuação
Knowledgeable	13 ticks
Unknowledgeable	33 ticks

Como esperado, apesar de o agente com conhecimento da área conseguir ver a saída, este segue para a saída mais próxima, apesar de não ser visível inicialmente. Por outro lado, o agente sem conhecimento da área, apesar de não conhecer o espaço nem saber o caminho para a saída mais próxima segue para a saída que consegue ver.

#### • Mecanismo de pânico

**Objetivo:** Testar o mecanismo de pânico.

**Cenário:** *exp2.xml*

**Mapa:** *testMap.map*

Esta experiência consistiu na colocação, em posições adjacentes de um espaço pré-definido, de dois agentes, sendo que um deles caracterizado por um elevado nível de pânico. No caso, ambos os agentes são do tipo *IndependentKnowledgeable*, embora tal não seja relevante para o objetivo desta experiência, podendo, de facto, ter-se usado agentes de qualquer um dos tipos definidos.

Procedeu-se à análise dos seus comportamentos e, no final, verificaram-se os seus níveis de pânico. Como esperado, observou-se que um agente em pânico «emite um grito», conforme a especificação deste tipo de interação. O outro agente «ouve o grito» e aumenta o seu nível de pânico - como se pode observar na Figura 14.

```

(d) New environment created.
(d) Population of 2 created.
Log: IndependentKnowledgeable_0 pushed IndependentKnowledgeable_1
(d) Panic variation: 12.0
(d) Mobility variation: -12.0
Log: IndependentKnowledgeable_1 pushed IndependentKnowledgeable_0
(d) Panic variation: 12.0
(d) Mobility variation: -12.0
(d) IndependentKnowledgeable_0 screamed.
(d) IndependentKnowledgeable_1 heard a scream!
(d) Panic variation: 12.0

```

Figura 14: Excerto do registo de execução de uma simulação do cenário descrito.

Em algumas das execuções, como nesta, observaram-se «empurrões», devido ao facto de se encontrarem em posições adjacentes e ao facto de os agentes estarem num estado de pânico.

No caso, um dos agentes «empurrou» o outro, o que produziu o primeiro aumento do nível de pânico, visível no gráfico da Figura 15.

Seguiu-se um novo «empurrão», desta vez, por parte do agente que tinha sido «empurrado» antes, causando um novo aumento do nível de pânico.

O terceiro aumento do pânico observado fica a dever-se ao «grito» que o agente em pânico lançou ao ser empurrado, e reflete a reação do agente que o empurrou a esse mesmo «grito».

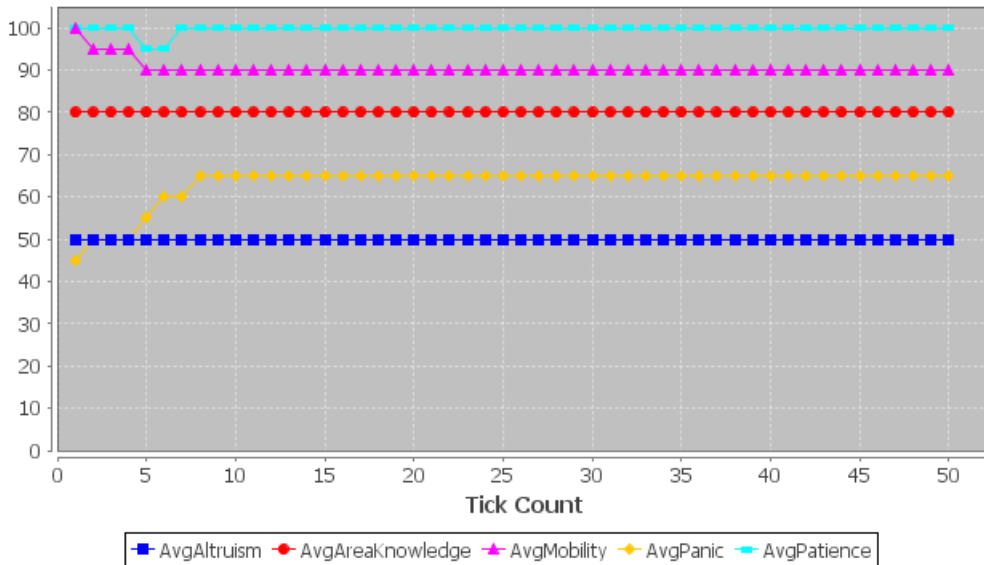


Figura 15: Variação dos atributos dos agentes do cenário.

Salienta-se, ainda, a diminuição da mobilidade verificada a cada «empurrão», observável na Figura 15.

- **Pedido de direções**

**Objetivo:** Testar a partilha de conhecimento entre dois agentes.

**Cenário:** *exp3.xml*

**Mapa:** *testMap.map*

Esta experiência consistiu na colocação, em posições adjacentes de um espaço pré-definido, de um agente do tipo *IndependentKnowledgeable*, com um elevado nível de altruísmo, e de um agente do tipo *DependentUnknowledgeable*, com um conhecimento da área reduzido.

```
(d) New environment created.
(d) Population of 2 created.
(d) IndependentUnknowledgeable_1 is requesting directions.
(d) IndependentUnknowledgeable_1 requested directions (attempt 1) to IndependentKnowledgeable_0
(d) IndependentKnowledgeable_0 heard DirectionsRequest from IndependentUnknowledgeable_1
(d) IndependentKnowledgeable_0 sent directions to IndependentUnknowledgeable_1
(d) IndependentUnknowledgeable_1 received directions from IndependentKnowledgeable_0
(d) IndependentUnknowledgeable_1 received good directions from IndependentKnowledgeable_0
```

Figura 16: Excerto do registo de execução de uma simulação do cenário descrito.

Confirmou-se que o agente com menor conhecimento da área efetuou um pedido de direções, que despoleta uma resposta por parte do outro agente. Recebendo esta resposta, o agente que efetuou o pedido atualiza o seu conhecimento da área com base na informação que contém e num fator de aquisição de conhecimento, como detalhado. Na Figura 17 é possível verificar o aumento do conhecimento médio.

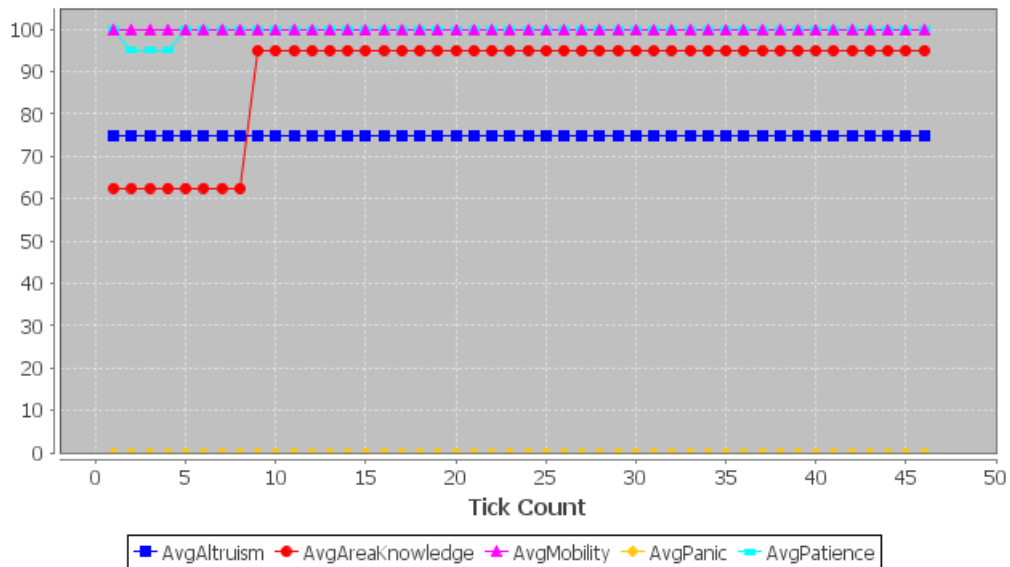


Figura 17: Variação dos atributos dos agentes do cenário.

- **Pedido de Ajuda**

**Objetivo:** Testar o comportamento de ajuda de um agente para com outro.

**Cenário:** *exp4.xml*

**Mapa:** *testMap.map*

Esta experiência consistiu na colocação, em posições adjacentes de um espaço pré-definido, de um agente do tipo *IndependentKnowledgeable*, com um elevado nível de altruísmo, e de um agente do tipo *IndependentUnknowledgeable*, com uma mobilidade reduzida.

```
(d) New environment created.
(d) Population of 2 created.
(d) IndependentKnowledgeable_0 is requesting help.
(d) IndependentKnowledgeable_0: help request sent
(d) IndependentUnknowledgeable_1 heard HelpRequest from IndependentKnowledgeable_0
(d) HelpReply sent byIndependentUnknowledgeable_1
(d) Help proposal form IndependentUnknowledgeable_1 received.
(d) IndependentKnowledgeable_0 being helped by IndependentUnknowledgeable_1
(d) IndependentUnknowledgeable_1 heard HelpConfirmation from IndependentKnowledgeable_0
(d) Helping agent IndependentKnowledgeable_0
```

Figura 18: Excerto do registo de execução de uma simulação do cenário descrito.

Como esperado, observou-se que o agente com mobilidade reduzida «pediu ajuda», que faz com que o outro lhe faça uma proposta. Recebendo esta proposta, o agente que efetuou o pedido envia uma confirmação, e atualiza o seu conhecimento da área com base na informação da proposta, bem como a sua mobilidade, conforme previsto para uma interação deste tipo. Na Figura 19 é possível verificar o aumento do conhecimento médio.

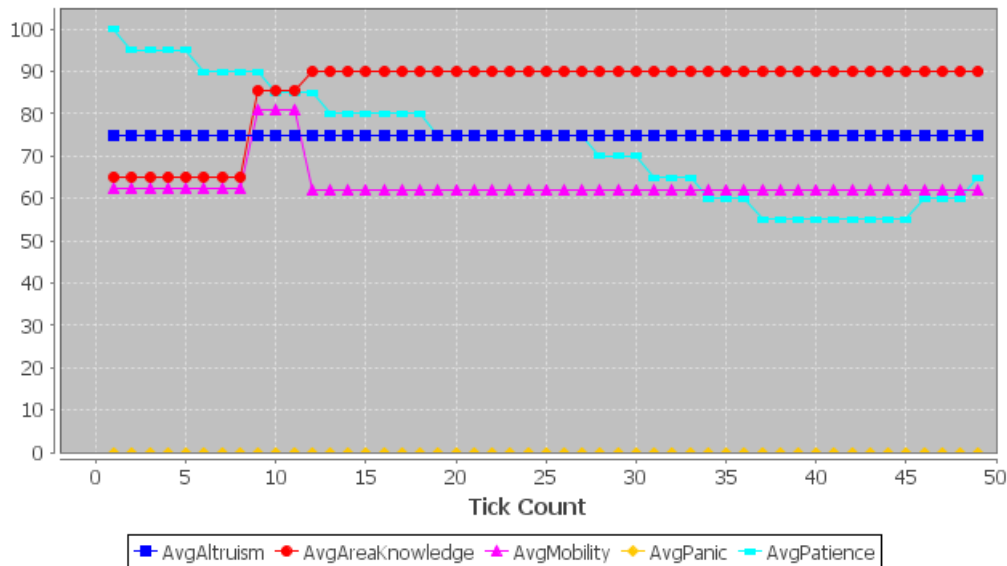


Figura 19: Variação dos atributos dos agentes do cenário.

De referir, ainda, que o pico na mobilidade média observado na Figura 19 é meramente resultado da implementação da interação, e deve-se à atualização assíncrona dos valores da mobilidade de ambos os agentes envolvidos.

Terminada a fase de desenvolvimento, foram avaliados diferentes cenários:

- diferentes configurações para o local do acidente, variando o número e localização de saídas de emergência;
- diferentes combinações de agentes a evacuar, variando o seu tipo e número.

Deste modo, foi possível observar-se como estas variações se refletem em métricas como o tempo médio e máximo de evacuação ou o número de feridos. Uma vez mais, nas experiências detalhadas a seguir, usou-se um *tick delay* de 60.

### • Conhecimento da área

**Objetivo:** Confrontar o comportamento de pessoas com elevado conhecimento da área a evacuar com o comportamento de pessoas que não conhecem a área tão bem.

**Cenário:** *scenario1.xml, scenario2.xml*

**Mapa:** *map\_2016\_12\_10\_19\_25\_05.map*

Esta experiência divide-se em duas partes: a primeira consistiu na colocação no espaço especificado de 45 agentes do tipo *IndependentKnowledgeable* e *DependentKnowledgeable*, com um elevado nível de conhecimento da área e baixos níveis de pânico. A segunda parte consistiu na repetição da primeira parte, mas desta vez com agentes do tipo *IndependentUnknowledgeable* e *DependentUnknowledgeable*, com um baixo nível de conhecimento da área e baixos níveis de pânico.

```
Evacuation statistics:
45 were evacuated in 61901
Each person took an average of 19716 to reach an exit.
Some took only 2515
0 were critically injured.
0 died.
17 directions requests answered.
2 pushes occurred.
0 help requests answered.
```

Figura 20: Resultados da simulação 1.

Como seria expectável numa situação em que todos conhecem a área relativamente bem, sabendo onde se encontram as saídas e não existindo pânico, a evacuação decorre sem problemas de maior, não havendo feridos. Registaram-se apenas alguns pedidos de direções e um número reduzido de empurrões.

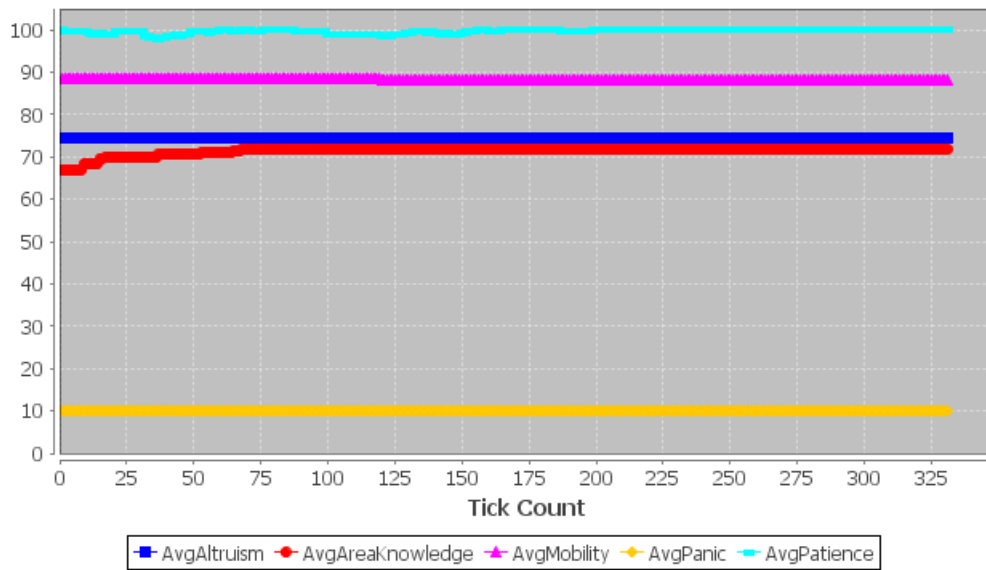


Figura 21: Variação dos atributos dos agentes do cenário 1.

Evacuation statistics:  
 43 were evacuated in 68417  
 Each person took an average of 21505 to reach an exit.  
 Some took only 1955  
 0 were critically injured.  
 2 died.  
 37 directions requests answered.  
 47 pushes occurred.  
 4 help requests answered.

Figura 22: Resultados da simulação 2.

Nesta situação em que poucos são os que conhecem bem a área, o pânico geral aumenta, havendo lugar a um elevado número de empurrões, dos quais resultam pessoas com mobilidade reduzida e mortos. Registaram-se, ainda, alguns pedidos de direções e de ajuda.

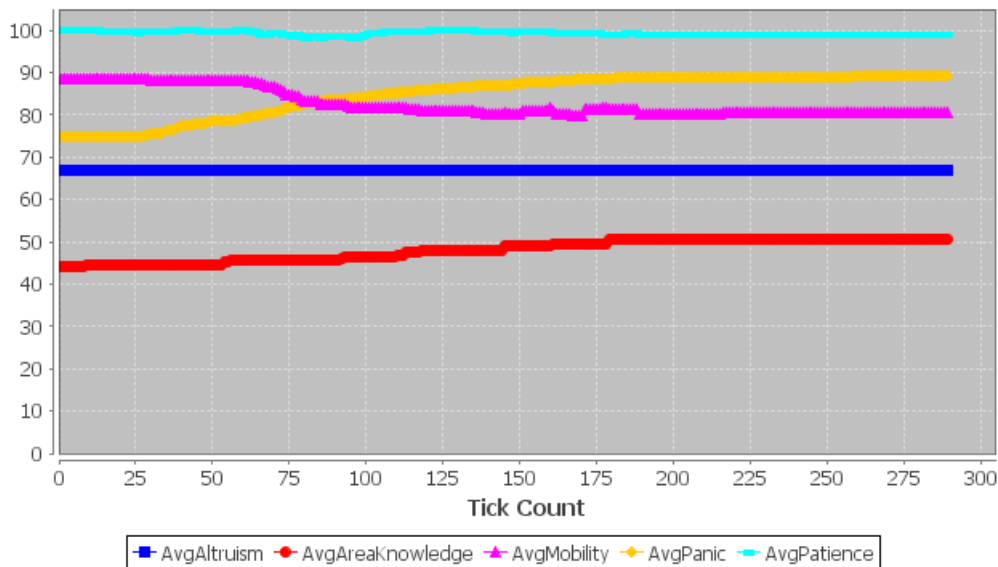


Figura 23: Variação dos atributos dos agentes do cenário 2.

A comparação dos resultados destes dois cenários permite medir o impacto conhecimento prévio de um espaço aquando da necessidade de evacuá-lo, tornando evidente a vantagem de estar preparado para uma situação de emergência, nomeadamente, conhecendo bem os caminhos até à saída mais próxima.

O desempenho das pessoas no cenário 2 degrada-se substancialmente face ao observado no cenário 1, e tal reflete-se em todas as métricas registadas: o tempo de evacuação aumenta, assim como o número de empurrões, que sobe dramaticamente, e dos quais resultam mortes.

## • Independência

**Objetivo:** Confrontar o comportamento de pessoas com elevado nível de independência durante uma evacuação com o comportamento de pessoas mais dependentes.

**Cenário:** *scenario3.xml*, *scenario4.xml*

**Mapa:** *map\_2016\_12\_10\_19\_25\_05.map*

Esta experiência divide-se em duas partes: a primeira consistiu na colocação no espaço especificado de 45 agentes do tipo *DependentUnknowledgeable*, com um baixo nível de independência. A segunda parte consistiu na repetição da primeira parte, mas desta vez com agentes do tipo *IndependentUnknowledgeable*, com um elevado nível de independência.



Evacuation statistics:  
 45 were evacuated in 17901  
 Each person took an average of 5433 to reach an exit.  
 Some took only 704  
 0 were critically injured.  
 0 died.  
 49 directions requests answered.  
 5 pushes occurred.  
 0 help requests answered.

Figura 24: Resultados da simulação 3.

Na situação em que poucos conhecem a área suficientemente bem, e existe uma forte relação de dependência, observou-se, ao longo da simulação, que as pessoas exibiam uma tendência para seguir a direção das demais.

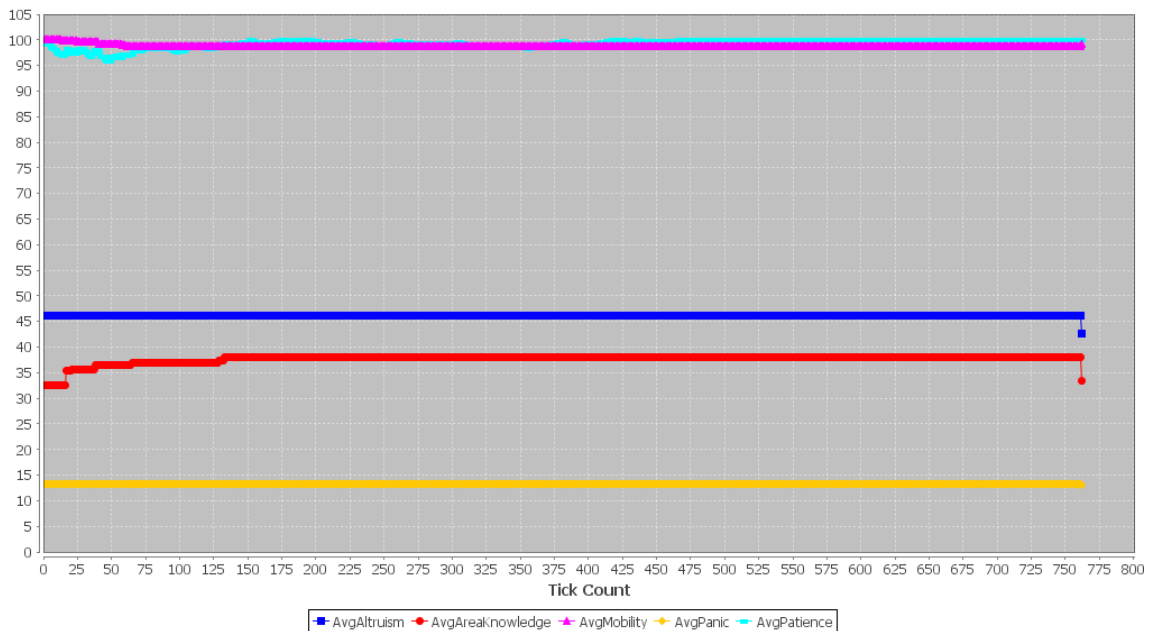


Figura 25: Variação dos atributos dos agentes do cenário 3.

Evacuation statistics:  
 45 were evacuated in 22724  
 Each person took an average of 15925 to reach an exit.  
 Some took only 12094  
 0 were critically injured.  
 0 died.  
 55 directions requests answered.  
 4 pushes occurred.  
 0 help requests answered.

Figura 26: Resultados da simulação 4.

No caso em que poucos conhecem a área suficientemente bem, mas existe um forte sentido de independência, tal não se verificou. Pelo contrário, as pessoas

moveram-se pelo espaço, até encontrarem a saída, ignorando a direção seguida pelas demais.

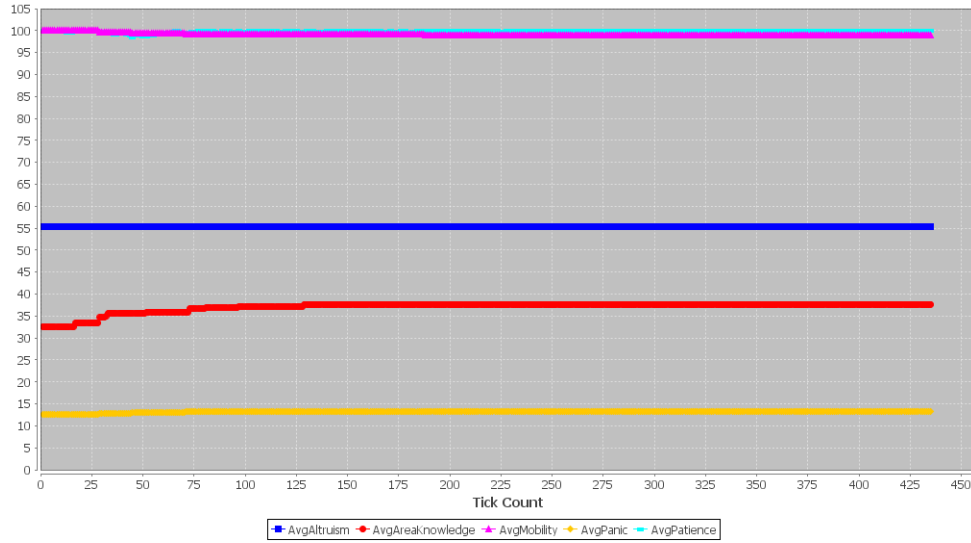


Figura 27: Variação dos atributos dos agentes do cenário 4.

Em ambos os casos, não resultaram da evacuação feridos ou mortes, tendo apenas sido registados apenas alguns pedidos de direções. O pânico geral mantém-se praticamente constante e num nível baixo, tendo havido apenas lugar a um número limitado de empurrões.

Estes dois cenários permitem estudar o comportamento de dois tipos de pessoa diferentes - pessoas altamente independentes e pessoas sem «vontade própria» - e o impacto que essa diferença tem na evacuação.

De um modo particular, o cenário 3 permitiu estudar os fenómenos de *herding* - nome usado para descrever a dinâmica de multidões frequentemente observada em situações de emergência, em que as pessoas perdem a capacidade de agir logicamente e decidir por si próprias que caminho seguir, tendo essa falta de independência por resultado que as pessoas tendam a seguir os outros.

## • Altruísmo

**Objetivo:** Confrontar o comportamento de pessoas com baixo nível de altruísmo durante uma evacuação com o comportamento de pessoas mais altruístas.

**Cenário:** *scenario5.xml*, *scenario6.xml*

**Mapa:** *map\_2016\_12\_10\_19\_25\_05.map*

A primeira parte desta experiência consistiu na colocação no espaço especificado de 47 agentes, do tipo *IndependentKnowledgeable* e *IndependentUnknowledgeable*, com um baixo nível de altruísmo. A segunda parte consistiu na repetição da primeira, desta vez com agentes com um elevado nível de altruísmo.

```

Evacuation statistics:
47 were evacuated in 23141
Each person took an average of 8826 to reach an exit.
Some took only 1374
0 were critically injured.
0 died.
31 directions requests answered.
10 pushes occurred.
0 help requests answered.

```

Figura 28: Resultados da simulação 5.

Numa situação em que a predisposição das pessoas para ajudar outros é baixa, verificou-se uma variação pouco significativa no nível de conhecimento da área geral, já que o número de pedidos de direções que obtiveram resposta é diminuto.

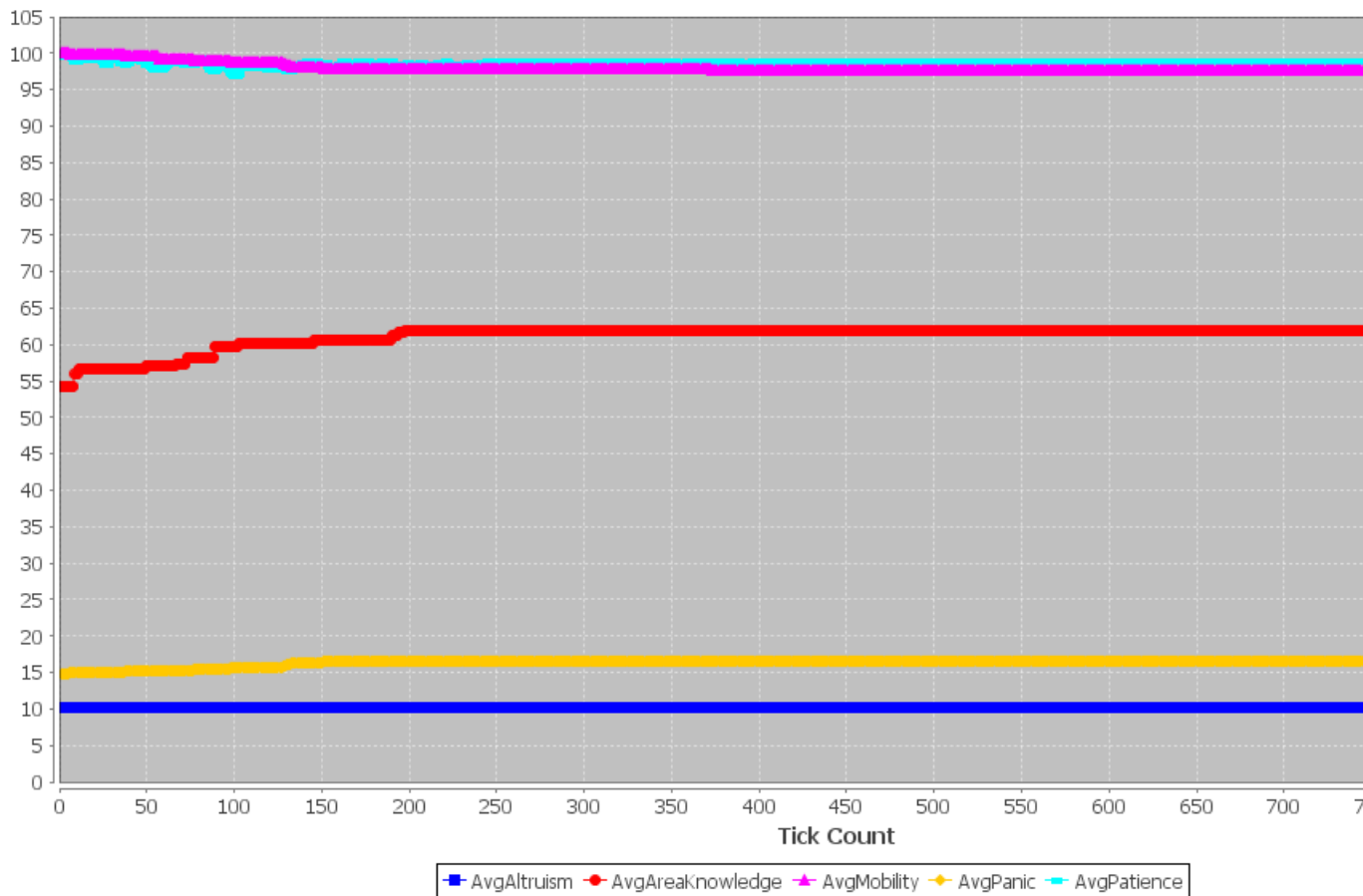


Figura 29: Variação dos atributos dos agentes do cenário 5.

```

Evacuation statistics:
47 were evacuated in 18621
Each person took an average of 8763 to reach an exit.
Some took only 1195
0 were critically injured.
0 died.
103 directions requests answered.
7 pushes occurred.
0 help requests answered.

```

Figura 30: Resultados da simulação 6.

No caso em que a maioria das pessoas age de modo altruísta, observou-se que, invariavelmente, o número de respostas com pedidos de direções era superior aos verificados no cenário anterior.

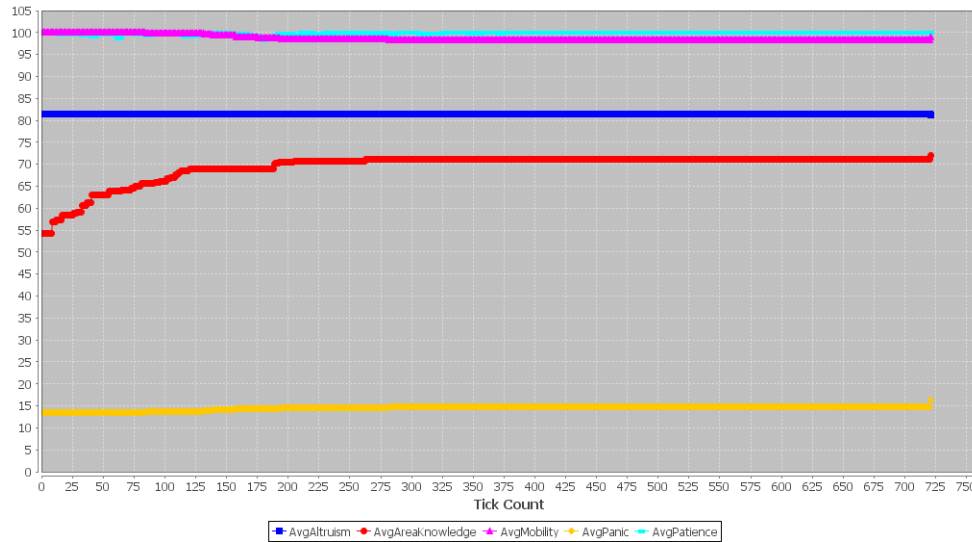


Figura 31: Variação dos atributos dos agentes do cenário 6.

Em ambos os casos, não resultaram da evacuação feridos ou mortes, tendo apenas sido registados apenas alguns pedidos de direções. O pânico geral mantém-se praticamente constante e num nível baixo, tendo havido apenas lugar a um número limitado de empurrões.

- **Espaço com saídas insuficientes**

**Objetivo:** Analisar o comportamento de pessoas com elevado conhecimento da área durante a evacuação de um espaço com apenas uma saída de emergência.

**Cenário:** *scenario1.xml*

**Mapas:** *single\_exit.map*, *multiple\_exits.map*

Esta experiência consistiu na colocação de 45 agentes, com um elevado nível de conhecimento da área e baixos níveis de pânico, primeiro num espaço com múltiplas saídas e, depois, num espaço com uma única saída.

```
Evacuation statistics:
45 were evacuated in 64500
Each person took an average of 11057 to reach an exit.
Some took only 1007
0 were critically injured.
0 died.
16 directions requests answered.
59 pushes occurred.
2 help requests answered.
```

Figura 32: Resultados da simulação 3.

Observou-se que, existindo um número suficiente de saídas cuja localização é do conhecimento da generalidade das pessoas no espaço, o número de mortes tende a ser igual a 0, apesar do número elevado de pessoas para a dimensão do espaço.

Não obstante da ocorrência de alguns empurrões, o fluxo de pessoas através das saídas parece ser suficiente para evitar que a mobilidade das pessoas seja severamente afetada.

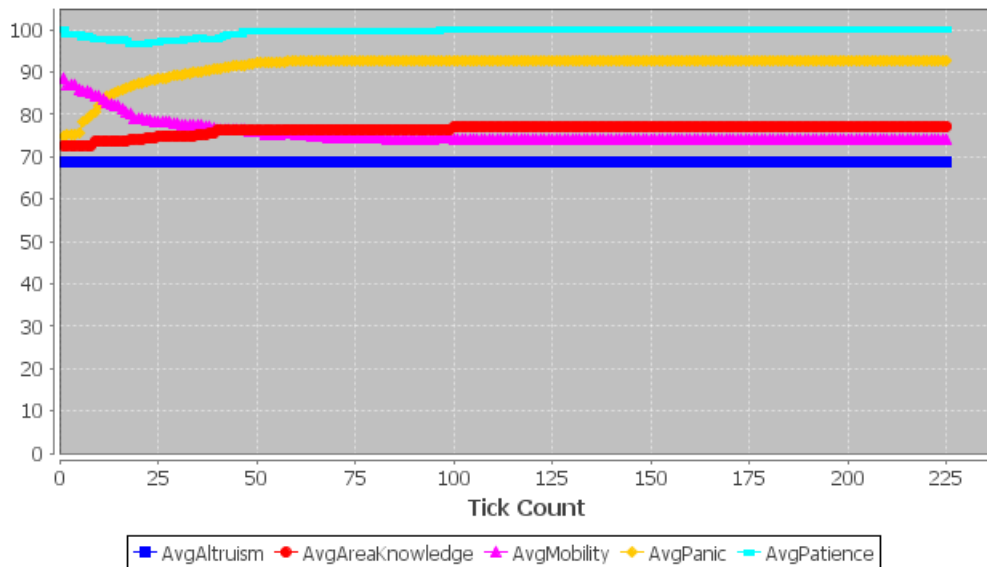


Figura 33: Variação dos atributos dos agentes do cenário 3.

```

Evacuation statistics:
18 were evacuated in 35114
Each person took an average of 17657 to reach an exit.
Some took only 2578
1 was critically injured.
26 died.
20 directions requests answered.
237 pushes occurred.
2 help requests answered.

```

Figura 34: Resultados da simulação 4.

Após a segunda fase da experiência pôde verificar-se que, existindo apenas uma saída, os agentes exibem um comportamento próximo daquele que seria exibido numa situação real, designado por *clogging*, que designa o fenómeno que ocorre quando um grande número de pessoas tenta passar por uma saída, esta acaba por ficar parcialmente obstruída.

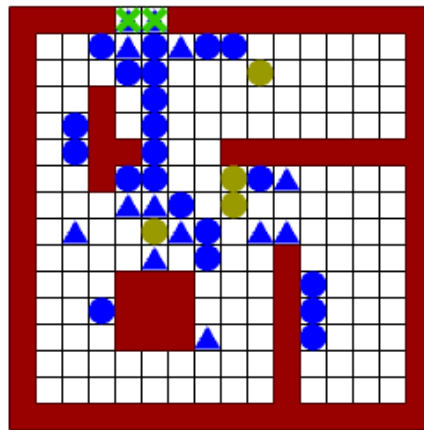


Figura 35: Fenómeno de *clogging*.

Com efeito, essa obstrução resultou num elevado número de empurrões e, consequentemente, na morte de várias pessoas. Este caos é claramente visível no gráfico da Figura 36, onde se pode ver que o pânico atinge o valor máximo da escala e a mobilidade decresce de forma acentuada.

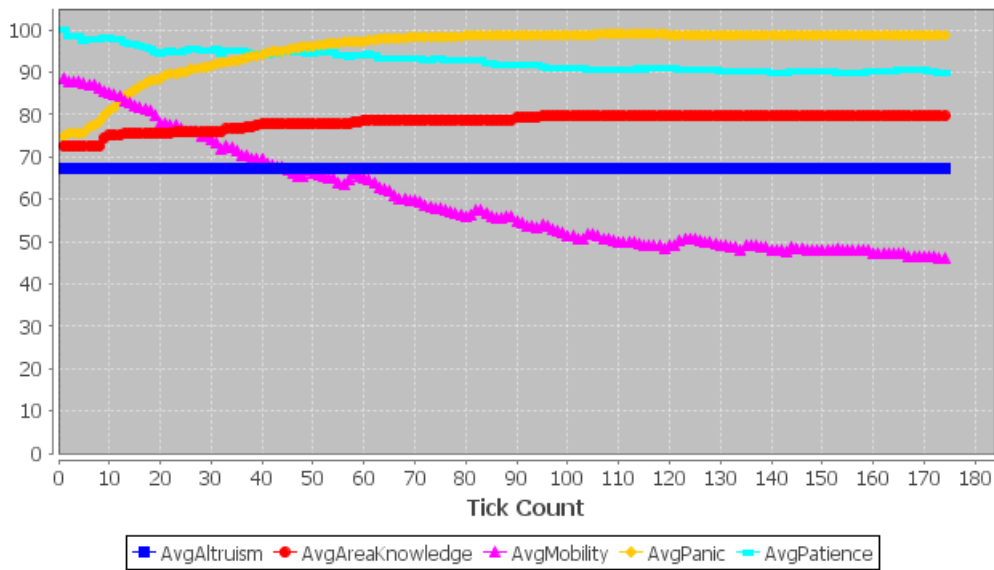


Figura 36: Variação dos atributos dos agentes do cenário 4.

A realização desta experiência permitiu confirmar a importância do planejamento no que respeita à definição do número e localização das saídas de emergência, duas fortes condicionantes do sucesso de uma evacuação.

- **Elevado número de pessoas**

**Objetivo:** Analisar o comportamento das pessoas quando inseridas numa multidão a ser evacuada.

**Cenário:** *scenario\_evac.xml*

**Mapas:** *museum.map*

Esta experiência consistiu na colocação de 100 agentes - 25 de cada um dos tipos definidos de acordo com os atributos de conhecimento da área e de independência -, num espaço de grandes dimensões, com uma saída apenas.

```
Evacuation statistics:
100 were evacuated in 39837
Each person took an average of 15751 to reach an exit.
Some took only 2626
0 were critically injured.
0 died.
109 directions requests answered.
86 pushes occurred.
3 help requests answered.
```

Figura 37: Resultados da simulação 5.

Tendo em conta o carácter eminentemente estocástico desta experiência - em que apenas se definiram os atributos de conhecimento de área e independência, sendo o resto definido por defeito, em certos casos, por uma função normal,

de valor médio  $\text{MAX\_SCALE} / 2$  e desvio padrão  $\text{MAX\_SCALE} / 5$  - os resultados obtidos em diferentes execuções variam consideravelmente. Todavia, essa pluralidade de resultados reforça a importância dos atributos das pessoas da população a evacuar - já que, se em algumas das execuções, não se registou qualquer morte, noutras o cenário não é tão positivo.

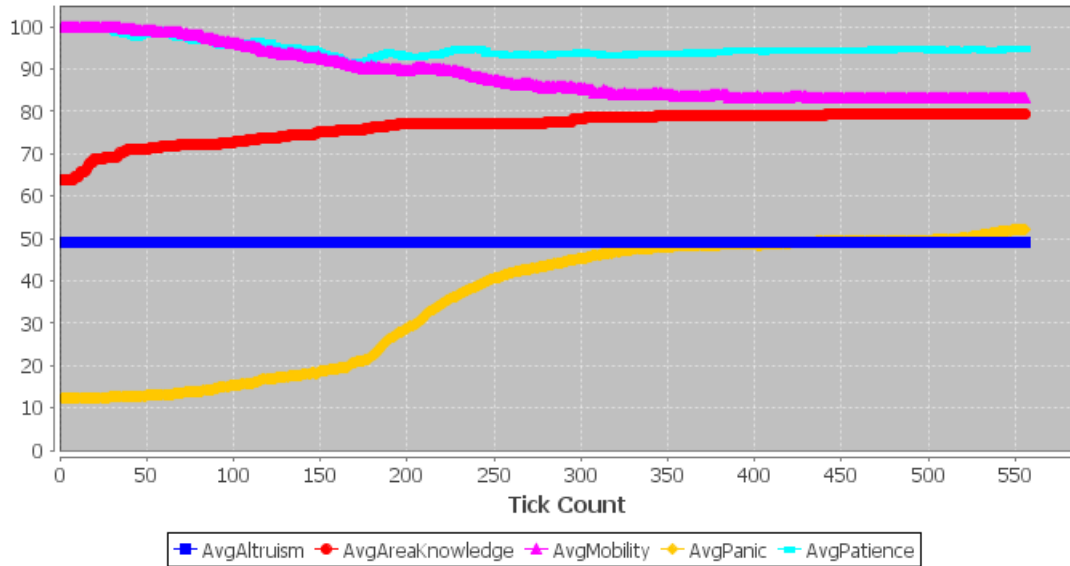


Figura 38: Variação dos atributos dos agentes do cenário 5.



## 6 Conclusões

Terminado o projeto, destaca-se a importância de ferramentas de simulação de evacuação - perante os desafios que a realização de simulacros coloca - e a aplicabilidade deste projeto a esse fim.

Consideram-se atingidos os objetivos definidos: desenvolver um programa que permita simular a interação de agentes confinados a um espaço concreto e limitado perante a necessidade de evacuar esse espaço.

Tem-se como particularmente útil a possibilidade de acompanhar a evacuação visualmente e a possibilidade de analisar os dados recolhidos, por um lado, através de gráficos e, por outro, através do registo de eventos.

Da análise dos resultados das experiências levadas a cabo foi possível retirar várias conclusões. Por um lado, a realização das experiências mais simples permitiu validar a implementação dos vários comportamentos dos agentes, tendo-se observado alguns comportamentos que seriam expectáveis em circunstâncias reais, como fenómenos de *clogging* e *herding*. Por outro lado, confirmou-se a forte influência do conhecimento da área no sucesso de uma evacuação, bem como a importância da existência de um número suficiente de saídas de emergência, devidamente posicionadas. A população a evacuar - e, mais concretamente, os seus atributos - são, igualmente, fatores determinantes para o resultado de uma evacuação, seja no que diz respeito à rapidez, seja no número de interações, seja no número de feridos ou mortos.

## 7 Possíveis Melhorias

Considera-se que uma possível melhoria, seria a introdução de outros obstáculos dinâmicos no espaço, como os elementos fumo e fogo. Tal poderia ser implementado, por exemplo, usando um agente com a capacidade de se replicar ao longo do tempo para posições adjacentes, simulando a propagação de um incêndio. Agentes na proximidade poderiam sufocar ou queimar-se, vendo a sua mobilidade reduzida ou mesmo morrer.

No que respeita à implementação de agentes, uma optimização passível de ser incorporada seria dotar os agentes da capacidade de reconhecer os caminhos já percorridos, com vista a evitar seguir caminhos já explorados.

Adicionalmente, tem-se a utilização de modelos de distribuição estatística mais adequados a cada um dos diferentes atributos.

Outra melhoria que poderia ser introduzida ao nível da interação entre os agentes prende-se com a visualização gráfica dessa interação, nomeadamente através da criação de uma rede ligando os agentes envolvidos.

Por último, equaciona-se a criação de um novo tipo de agente, cuja única função seria coordenar a evacuação, ajudando aqueles que precisassem de ajuda a chegar à saída. Estes agentes de segurança poderiam existir em qualquer número e deveriam coordenar-se entre si, por modo a garantir que o espaço era evacuado, i.e., que todas as pessoas (vivas) chegavam à saída.

## 8 Recursos

### 8.1 Bibliografia

[1] Almeida, João; Rosseti, Rosaldo; Coelho, António: *Crowd Simulation Modeling Applied to Emergency and Evacuation Simulations using Multi-Agent Systems*. 2011.

[2] *FIPA: FIPA Specification*. Disponível online em <http://www.fipa.org/specs/fipa00037/SC00037J.pdf>. Consultado em novembro de 2016.

[3] *Repast: Repast Symphony Documentation*. Disponível online em [http://repast.sourceforge.net/docs/api/repast\\_symphony/index.html](http://repast.sourceforge.net/docs/api/repast_symphony/index.html). Consultado em novembro de 2016.

[4] *SAJaS: SAJaS Documentation*. Disponível online em <https://web.fe.up.pt/~hlc/doku.php?id=sajas>. Consultado em novembro de 2016.

### 8.2 Software

[1] *Repast Symphony*;

[2] *JADE*;

[3] *SAJaS*.

[4] *Eclipse*;

## 9 Apêndice

### 9.1 Manual de Utilizador

#### 9.1.1 Desenho do mapa

Com vista a facilitar o desenho de um mapa, disponibiliza-se uma ferramenta simples para o efeito, *EnvironmentBuilder*.

Esta ferramenta é, no entanto, algo primitiva e foi meramente utilizada para auxiliar na criação de mapas de maior dimensão.

#### 9.1.2 Especificação do mapa

O ficheiro que especifica o espaço de simulação deverá ter como conteúdo um conjunto de linhas, todas com comprimento idêntico, compostas pelos caracteres 'W' - que representa uma parede, ou, mais genericamente, um obstáculo -, 'E' - que representa uma saída - e ' ', que caracteriza um espaço livre. A ordem dos caracteres nas linhas, e das linhas no ficheiro, é a ordem considerada para a representação do mapa no ambiente na simulação.

O ficheiro poderá ser seleccionado na *GUI* do *Repast*, através do separador *Parameters* na barra lateral, colocando o endereço para o ficheiro na caixa designada *Environment File Name*.

#### 9.1.3 Especificação do cenário

O ficheiro que especifica a população a usar na simulação é um ficheiro .xml, e permite configurar tanto factores comuns a toda a simulação como os atributos individuais dos vários agentes a evacuar:

---

```
<scenario
panicVariation="INT"
mobilityVariation="INT"
knowledgeAcquisitionFactor="DOUBLE"
patienceVariation="INT"
patienceThreshold="INT"
>
  <person>
    <position x="INT" y="INT"/>
    <areaKnowledge>INT</areaKnowledge> <!--required-->
    <independence>INT</independence> <!--required-->
    <altruism>INT</altruism>
    <patienceVariation>INT</patienceVariation>
    <mobility>INT</mobility>
    <panic>INT</panic>
    <age>INT</age>
  </person>
</scenario>
```

---

O ficheiro poderá ser selecionado na *GUI* do *Repast*, através do separador *Parameters* na barra lateral, colocando o endereço para o ficheiro na caixa designada *Scenario File Name*.

#### 9.1.4 Utilização

Antes de iniciar a aplicação, aconselha-se a consulta da errata.

Após a especificação do mapa e cenário a utilizar, é conveniente, para efeitos de visualização, alterar o parâmetro *Schedule Tick Delay*, através do separador *Run Options*. Nas experiências utilizadas, utilizaram-se *delays* de valor entre 30 a 60.

Concluído este passo, pode dar-se início à simulação, do mesmo modo que seria iniciada uma qualquer simulação *Repast*.

Além de se poder acompanhar a evacuação visualmente, através de um *display* do espaço e pessoas a evacuar, é possível acompanhar e analisar a evolução do processo, através de um gráfico que monitoriza o valor médio de alguns dos atributos definidos para os agentes, e de um outro gráfico, que regista o número de evacuados e mortos. Adicionalmente, é possível observar o registo da execução, que mostra mensagens relevantes para compreender algumas das interações observadas.