



**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

# Agentes e Sistemas Multiagente

**Mestrado Integrado em Engenharia Biomédica**  
**Informática Médica**

**Sistemas Inteligentes**

2º semestre

2020/2021

**Autor:**

84480 Paulo Jorge Alves

**Docentes:**

Paulo Novais

Filipe Gonçalves

Braga

11 de abril 2021

## Resumo

A inteligência tem-se revelado uma propriedade difícil de caracterizar e reproduzir. Ao longo do tempo foram propostas múltiplas abordagens para atingir o objetivo de replicar, num computador, o comportamento inteligente que caracteriza cada ser humano.

O futuro da Inteligência Artificial (IA) aponta para uma tecnologia cada vez mais transparente, eticamente construída e que faz parte de tarefas do dia a dia, no trabalho ou na vida pessoal de cada um, tornando o ser humano mais produtivo.

Atualmente, os agentes são um dos principais campos de interesse em engenharia da computação, inteligência artificial e teoria de sistemas complexos.

O objetivo deste relatório é fazer compreender a importância da utilização destes agentes nas diversas áreas. Para tal, ao longo do relatório é referido o conceito destes agentes, e a relação dos sistemas multiagentes com as várias áreas da IA. Além disso, aborda-se, de uma forma geral, os vários domínios onde são aplicados estes sistemas e as tecnologias que são utilizadas para a sua implementação, dando destaque a inovações no domínio da Engenharia Biomédica.

**Keywords:** Inteligência Artificial; Agente; Sistemas Multiagentes; Engenharia Biomédica.

# Índice

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Inteligência Artificial</b>	<b>7</b>
2.1	Inteligência Artificial Distribuída . . . . .	9
<b>3</b>	<b>Agentes Inteligentes</b>	<b>10</b>
3.1	Agente e Ambiente . . . . .	13
3.2	Agentes <i>vs.</i> Objetos . . . . .	14
3.3	Agentes <i>vs.</i> Sistemas Periciais . . . . .	15
3.4	Agentes como Sistemas Intencionais . . . . .	15
3.5	Agentes de raciocínio dedutivo e prático . . . . .	15
3.6	Classificação de Agentes . . . . .	16
3.7	Arquitetura de Agentes . . . . .	18
3.7.1	Arquitetura Deliberativa . . . . .	19
3.7.2	Arquitetura Reativa . . . . .	20
3.7.3	Arquitetura Híbrida . . . . .	21
3.7.4	Arquitetura BDI . . . . .	22
<b>4</b>	<b>Sistemas Multiagente</b>	<b>23</b>
4.1	O Conceito de Sistema Multiagente . . . . .	23
4.2	Motivação dos Sistemas Multiagente . . . . .	24
4.3	SMA centralizado <i>vs.</i> descentralizado . . . . .	25
4.4	SMA fechado <i>vs.</i> aberto . . . . .	26
4.5	Comunicação nos Sistemas Multiagente . . . . .	27
4.5.1	Atos de Discurso . . . . .	28
4.6	Plataformas de Comunicação . . . . .	29
4.6.1	Plataforma CORBA . . . . .	29
4.6.2	Plataforma DCOM/OLE . . . . .	29
4.6.3	Plataforma JATLite . . . . .	29
4.7	Linguagens de Comunicação . . . . .	30
4.7.1	Linguagem KQML . . . . .	31
4.7.2	Linguagem KIF . . . . .	32
4.7.3	Linguagem ACL . . . . .	33
4.7.4	Linguagem XML . . . . .	33

---

4.8	Ontologias . . . . .	34
4.9	Sistemas Baseados em Quadros Negros . . . . .	34
4.10	Aprendizagem em Sistemas Multiagente . . . . .	35
4.11	Coordenação em Sistemas Multiagente . . . . .	36
4.11.1	SMA Cooperativos <i>vs.</i> Competitivos . . . . .	37
<b>5</b>	<b>Ferramentas para a Construção de Agentes</b>	<b>38</b>
5.1	JADE . . . . .	38
5.2	ZEUS . . . . .	38
5.3	SICStus-Prolog . . . . .	39
5.4	JINI . . . . .	39
5.5	FIPA-OS . . . . .	40
5.6	JACK . . . . .	40
<b>6</b>	<b>Aplicações de Agentes e Sistemas Multiagente</b>	<b>41</b>
6.1	ARCHON . . . . .	42
6.2	ADEPT . . . . .	43
6.3	TeleTruck . . . . .	44
6.4	RoboCup . . . . .	45
<b>7</b>	<b>Aplicações de Agentes e SMA na Engenharia Biomédica</b>	<b>47</b>
7.1	TeleCARE . . . . .	48
7.2	MADIP . . . . .	49
7.3	AIDA e BMaPI . . . . .	51
<b>8</b>	<b>Agentes e Sistemas Multiagente no Futuro</b>	<b>54</b>
8.1	Avanços em sensores implantáveis . . . . .	54
8.2	Integração de saúde em larga escala . . . . .	54
8.3	Previsão/Prevenção de doenças . . . . .	54
<b>9</b>	<b>Conclusão</b>	<b>55</b>
	<b>Referências</b>	<b>56</b>

---

## Índice de Figuras

1	IA Distribuída . . . . .	9
2	Agente . . . . .	10
3	Agente e o ambiente . . . . .	13
4	Agente <i>vs.</i> Objeto . . . . .	14
5	Agentes de raciocínio prático . . . . .	16
6	Categorias de Agentes definidas por Nwana . . . . .	17
7	Categorias de Agentes definidas por Franklin e Graesser . . . . .	18
8	Esquema genérico de uma Arquitetura Deliberativa . . . . .	19
9	Esquema genérico de uma Arquitetura Reativa . . . . .	20
10	Esquema genérico de uma Arquitetura Híbrida . . . . .	21
11	Esquema genérico de uma Arquitetura BDI . . . . .	22
12	Estrutura de um Sistema Multiagente . . . . .	24
13	Vantagens e desvantagens do SMA fechado . . . . .	26
14	Vantagens e desvantagens do SMA aberto . . . . .	26
15	Agente com capacidade de comunicação . . . . .	27
16	Arquiteturas de comunicação de agentes direta e assistida . . . . .	28
17	A Linguagem KQML como linguagem por camadas . . . . .	31
18	Exemplo de uma mensagem KQML . . . . .	31
19	Parâmetros de uma mensagem KQML . . . . .	32
20	Exemplo de linguagem XML . . . . .	33
21	Modelo do sistema baseado em Quadros Negros . . . . .	35
22	Características da Aprendizagem em SMA . . . . .	36
23	JADE . . . . .	38
24	ZEUS Agent Generator . . . . .	39
25	ADEPT . . . . .	43
26	Arquitetura do TeleTruck . . . . .	44
27	RoboCup . . . . .	46
28	Comunidades digitais interconectadas do Sistema TeleCARE . . . . .	48
29	Arquitetura do sistema MADIP . . . . .	49
30	Interação entre entidades no MADIP . . . . .	50
31	AIDA . . . . .	52
32	Arquitetura do BMaPI . . . . .	53

## 1 Introdução

Nos dias de hoje, o ser humano está cercado de informação que pode ser extremamente importante para tomar decisões de acordo com os seus estímulos, objetivos ou deveres. Por este motivo, a informação é o resultado do processamento e manipulação dos dados que se encontram à sua volta.

De jogos de computador a sociedades humanas, muitos fenómenos naturais e artificiais podem ser representados como Sistemas Multiagente. Com o tempo, estes sistemas demonstraram ser uma ferramenta muito poderosa para modelar e compreender certas questões. No entanto, embora os agentes inteligentes já existam há anos, a sua implementação real ainda está longe de ser o que devia.

A utilização de agentes é fulcral no auxílio às pessoas na tomada de decisão. Esta pode ser classificada como um processo cognitivo que resulta na seleção de uma opção entre várias alternativas. Para se ter a perceção de todos os cenários possíveis numa tomada de decisão é necessário que se tenha a possibilidade de especular sobre todos os casos, de forma a que se possa medir os prós e os contras consoante a ação que queremos realizar.

Os Sistemas Inteligentes não são apenas técnicas de software com o único propósito de ajudar os humanos na tomada de decisão, visto que são capazes de muito mais. É de salientar que o grande objetivo da utilização destes sistemas não é substituir o humano nas suas tarefas, mas sim auxiliá-lo nas mesmas, de forma a permitir um aumento de eficiência e melhoria nos resultados pretendidos.

O relacionamento dos Sistemas Inteligentes com as diferentes áreas de Inteligência Artificial é cada vez mais importante e irá permitir atingir resultados nunca esperados nesta área. No presente relatório irá salientar-se o propósito desta relação e os objetivos que se pretendem ser atingidos, fundamentalmente na Engenharia Biomédica. A sociedade deverá interpretar a implementação de sistemas inteligentes não como um fim, mas como um meio para atingir esse fim que tanto se pretende: melhoria da qualidade de vida para todos.

Neste relatório fez-se um levantamento do estado da arte sobre "Agentes e Sistemas Multiagente" e a sua aplicabilidade ao domínio da Saúde, abordando várias aplicações e projetos. Para isto, este relatório foi dividido em 8 secções. Nos primeiros capítulos abordam-se os termos de "Inteligência Artificial", "Agente" e "Sistema Multiagente", como forma de contextualização, e de forma a construir uma base de conhecimento que permita entender as secções seguintes. Nestas últimas, aborda-se a aplicação dos sistemas multiagente nas diferentes áreas, dando ênfase à área da Saúde.

## 2 Inteligência Artificial

A atividade do ser humano está diretamente ligada à inteligência, sendo esta requerida ao nível das mais diversas tarefas, nomeadamente na compreensão das linguagens, na capacidade de expressão e na aprendizagem. De facto, existem diversas formas e graus de inteligência que ocorrem em pessoas, mas também em outros seres vivos.

Num primeiro momento, a inteligência era geralmente associada a uma característica unicamente humana, de representação de conhecimento e resolução de problemas, refletindo um ponto de vista antropocêntrico. Ainda assim, nós, humanos, não nos compreendemos a nós mesmos, como funciona a "inteligência" e nem mesmo a origem dos nossos pensamentos [1].

Segundo o artigo *Intelligence: Knowns and Unknowns*, a inteligência pode ser vista como: "Os indivíduos diferem na habilidade de entender ideias complexas, de se adaptarem com eficácia ao ambiente, de aprenderem com a experiência, de se engajarem nas várias formas de raciocínio, de superarem obstáculos mediante o pensamento. Embora tais diferenças individuais possam ser substanciais, nunca são completamente consistentes: o desempenho intelectual de uma dada pessoa vai variar em ocasiões distintas, em domínios distintos, a se julgar por critérios distintos. Os conceitos de 'inteligência' são tentativas de aclarar e organizar esse conjunto complexo de fenómenos".

Uma segunda definição de inteligência, em *Mainstream Science on Intelligence*, é: "uma capacidade mental bastante geral que, entre outras coisas, envolve a habilidade de raciocinar, planejar, resolver problemas, pensar de forma abstrata, compreender ideias complexas, aprender rápido e aprender com a experiência. Não é uma mera aprendizagem literária, uma habilidade estritamente académica ou um talento para sair-se bem em provas. Ao contrário disso, o conceito refere-se a uma capacidade mais ampla e mais profunda de compreensão do mundo à sua volta - 'pegar no ar', 'pegar' o sentido das coisas ou 'perceber' uma coisa"[2].

É difícil definir inteligência pois é uma questão muito subjetiva. E torna-se mais séria e complexa quando se estudam as formas para a sua implementação em processos computacionais ou entidades inteligentes, descrevendo a atitude mental e desenvolvendo o talento e a habilidade, ou seja, quando o objetivo é por uma máquina a executar tarefas similares às que um humano realiza, e tais sistemas possuem um certo grau de inteligência, i.e., uma Inteligência Artificial [3].

Pode-se definir Inteligência Artificial, de maneira geral, como a capacidade das máquinas pensarem como seres humanos: aprender, perceber e decidir quais os caminhos a seguir, de forma racional, diante de determinadas situações [4].

Alan Turing propôs um teste capaz de determinar se uma máquina demonstra ou não inteligência (artificial) [5]:

“Não sabemos definir precisamente o que é inteligência e, consequentemente, não podemos definir o que é inteligência artificial. Entretanto, embora não tenhamos uma definição de inteligência, podemos assumir que o ser humano é inteligente. Portanto, se uma máquina fosse capaz de se comportar de tal forma que não pudéssemos distingui-la de um ser humano, essa máquina estaria demonstrando algum tipo de inteligência que, nesse caso, só poderia ser inteligência artificial”.

Andreas Kaplan e Michael Haenlein definem a inteligência artificial como “uma capacidade do sistema para interpretar corretamente dados externos, aprender a partir desses dados e utilizar essas aprendizagens para atingir objetivos e tarefas específicos através de adaptação flexível” [6].

Já John McCarthy define Inteligência Artificial como: “*It is the science and engineering of making intelligent machines, especially intelligent computer programs. It is related to the similar task of using computers to understand human intelligence, but Artificial Intelligence does not have to confine itself to methods that are biologically observable*”. Esta definição apresenta a Inteligência Artificial como uma ciência e uma engenharia, com características muito próprias e que não se deve circunscrever a métodos que sejam biologicamente observáveis.

Por fim, uma definição mais simples é dada por Luger e Stubblefield, que apresenta a IA como uma disciplina que tem por objetivo o estudo e a construção de entidades artificiais com capacidades cognitivas semelhantes às dos seres humanos. É, por um lado, uma ciência que procura estudar e compreender o fenómeno da inteligência, e, por outro, um ramo da engenharia, na medida em que procura construir instrumentos para apoiar o Homem.

Os Sistemas Inteligentes têm como um dos seus propósitos, o de habilitar o computador para que este execute funções que são desempenhadas pelo ser humano fazendo uso do conhecimento e do raciocínio. A capacidade inerente aos humanos de agir inteligentemente é habitualmente associada ao conhecimento que estes detêm. O conhecimento é, assim, um requisito essencial para a construção destes sistemas [7].

A Inteligência Artificial é, hoje, de facto relevante para qualquer tarefa do dia-a-dia. Os exemplos de aplicação da Inteligência Artificial vão desde dos veículos autónomos ao diagnóstico médico, entre muitos outros.



## 2.1 Inteligência Artificial Distribuída

Suponha-se que existe uma colónia de formigas que tem sobrevivido aos rigores da evolução por cerca de milhões de anos. Caso se tenha a visão de apenas uma formiga não será possível compreender a imensidão de uma colónia. Por outro lado, do ponto de vista da colónia pode-se ver a distribuição do trabalho como uma linguagem muito mais poderosa. Estas colónias só sobrevivem porque a distribuição tem um significado, que provavelmente é invisível aos níveis inferiores [8]. Desta ideia, de um contexto biológico, surge a definição de Inteligência Artificial Distribuída (IAD).

Segundo Weiss, a Inteligência Artificial Distribuída é estudo, construção e aplicação de sistemas multiagentes, ou seja, sistemas com graus de interação em que os agentes perseguem um conjunto de objetos ou fazem um conjunto de tarefas.

Já para Demazeau e Müller, a IAD é solução colaborativa de problemas globais por um grupo distribuído de entidades. Assim sendo, estas entidades, que podem estar geograficamente dispersas, devem compartilhar as informações a fim de atingir um objetivo global.

A Inteligência Artificial Distribuída deverá caminhar no sentido de desenvolver mecanismos e métodos de resolução de problemas que permitam às entidades envolvidas melhorarem os processos de interação entre si e com terceiros, i.e., há que potenciar e compreender os processos de comunicação entre entidades inteligentes.

Desta forma, a IAD divide-se em 3 grandes grupos, como está representado na imagem abaixo.

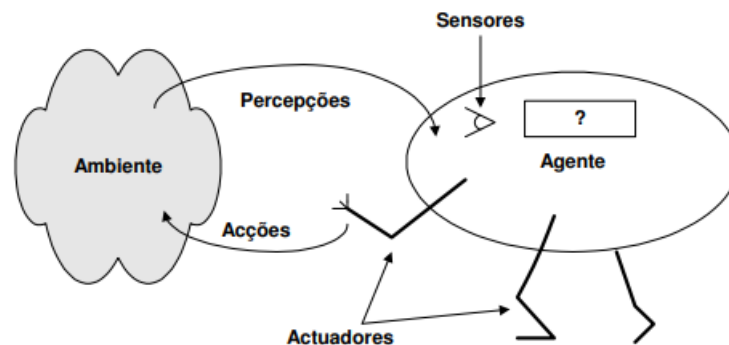


**Figura 1:** IA Distribuída [9]

### 3 Agentes Inteligentes

A necessidade de lidar com ambientes altamente dinâmicos e onde o nível de abstração é incomensuravelmente superior ao da instrução-máquina, levou ao aparecimento do conceito de agente inteligente, autónomo e flexível, i.e., uma entidade que procura resolver problemas através de processos inteligentes, com capacidade de decisão própria e capacidade de aprendizagem [3].

Definir o conceito de agente inteligente tem sido uma tarefa de difícil concretização, devido ao facto deste conceito ser usado para caracterizar muitas e diversas espécies de entidades. Resulta, daí, que as múltiplas definições existentes na literatura se prendam com distintos contextos de utilização e de desenvolvimento de aplicações [7].



**Figura 2:** Agente [10]

Existem diversas definições de agente que, no entanto, são normalmente muito estreitas relativamente ao que definem ou, por oposição, extremamente gerais. Entre as mais conhecidas, encontram-se [10]:

- “... Algo que age ou tem o poder ou autoridade para agir ... ou representar alguém” [AHD, 2000].
- “...algo que pode ser visto como tendo a percepção de um ambiente através de sensores e agindo nesse ambiente através de actuadores” [Russel e Norvig, 1995].
- “...uma peça de hardware ou (mais normalmente) um sistema computacional baseado em software que goza das seguintes propriedades: autonomia, reactividade, pró-actividade e habilidade social” [Wooldridge e Jennings, 1995].
- “... Sistemas computacionais que vivem em ambientes complexos e dinâmicos, sentem e agem autonomamente nesse ambiente e ao fazerem-no realizam um conjunto de objectivos e tarefas para o qual foram projectados” [Maes, 1996].

- “ ... são entidades de software que realizam um conjunto de operações em nome de um dado utilizador ou de outro programa com um dado grau de independência ou autonomia, e que fazendo-o, utilizam algum conhecimento ou representações dos objectivos e desejos do utilizador” [IBM, 1997].

Nestas definições destaca-se o facto de os agentes serem capazes de se aperceberem do seu ambiente e agirem nesse mesmo ambiente, representarem um dado utilizador ou realizarem um dado conjunto de tarefas, serem persistentes , capazes de comunicar utilizando uma linguagem de alto-nível e autónomos.

Segundo Wooldridge e Jennings, um agente pode ser considerado fraco ou forte.

Um agente é considerado fraco quando não apresenta um conjunto mínimo de atributos, a partir dos quais se possam definir e quantificar um certo conjunto de atitudes como, por exemplo [3]:

- **Autonomia:** os agentes operam sem a intervenção direta de humanos ou outros agentes e possuem algum tipo de controlo sobre as suas acções e estado interno;
- **Reatividade:** os agentes têm a percepção do seu ambiente e respondem rapidamente às alterações que nele ocorrem;
- **Iniciativa:** os agentes não se limitam a agir em resposta ao seu ambiente. São capazes de tomar a iniciativa, conduzindo as suas próprias acções segundo um comportamento que é dirigido por objetivos;
- **Sociabilidade:** os agentes são capazes de interagir com outros agentes, comunicando com estes, competindo ou cooperando na resolução de problemas que entretanto lhes tenham sido colocados.

Os atributos anteriormente mencionados representam a noção fraca de agente, que está intimamente ligada à Computação Distribuída e IA. Neste domínio, o agente é considerado como um processo de automação, que é implementado para para a resolução de problemas em ambientes distribuídos.

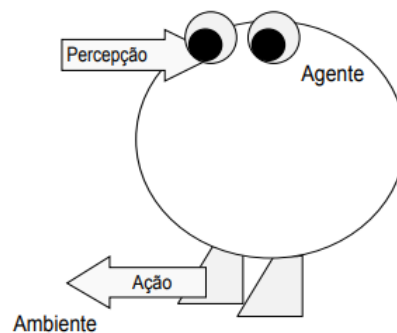
Por outro lado, um agente é considerado forte, uma vez que passa a ter entidades passíveis de desenvolver a sua própria consciência apresentando um conjunto de mais-valias como a percetibilidade, a sentimentalidade e o emocionismo Por conseguinte, um conjunto mínimo de atributos tem, de ser considerado, e em que se destacam [3]:

- **Mobilidade:** um agente diz-se móvel quando se movimenta através da rede executando as tarefas de que foi incumbido e cumprindo objetivos.
- **Intencionalidade:** Capacidade que o agente apresenta para a definição de objetivos assim como de estratégias para os atingir.
- **Aprendizagem:** Capacidade que o agente apresenta para adquirir conhecimento. A atualização da base de conhecimento é feita através da assimilação de padrões de comportamento ou de preferências manifestadas pelo próprio agente.
- **Competência:** um agente é competente quando conduz com sucesso e eficiência as tarefas que é incumbido de realizar. A competência está normalmente relacionada com a confiança depositada no agente, por terceiros.
- **Veracidade:** um agente não fornece, propositadamente, informação falsa.
- **Racionalidade:** um agente racional não aceita realizar tarefas que lhe pareçam impossíveis de executar, contraditórias com os seus princípios (e.g., ética), ou quando não são compensados em termos do risco, custo e esforço envolvido.
- **Benevolência:** um agente benevolente adota como seus, os objetivos de terceiros, desde que estes não entrem em conflito com os que perfilha. Os agentes benevolentes são levados a realizar todas as tarefas que lhe sejam imputadas.
- **Emotividade:** certas características próprias do ser humano têm vindo a migrar e a constituir-se como parte constituinte de agentes. Um agente emotivo emula emoções artificiais para transmitir afetividade aos seres humanos, permitindo assim interações mais efetivas, estimulantes e naturais entre humanos e agentes.

O conceito de agente está longe de ser consensual. No entanto, tal poderá assumir-se como uma vantagem e não como um senão, uma vez que deste modo é possível um elevado grau de abstração na análise dos problemas.

### 3.1 Agente e Ambiente

Um agente é um sistema computacional que "vive" num determinado ambiente, apercebendo-se e agindo nesse ambiente. As características do ambiente em que o agente "habita" são determinantes na definição da arquitetura do agente e da sua forma de operação [10]. Dessa forma, torna-se necessário saber que tipos de classificação de ambientes existem de modo a compreender a maneira como o agente interage com o ambiente.



**Figura 3:** Agente e o ambiente [11]

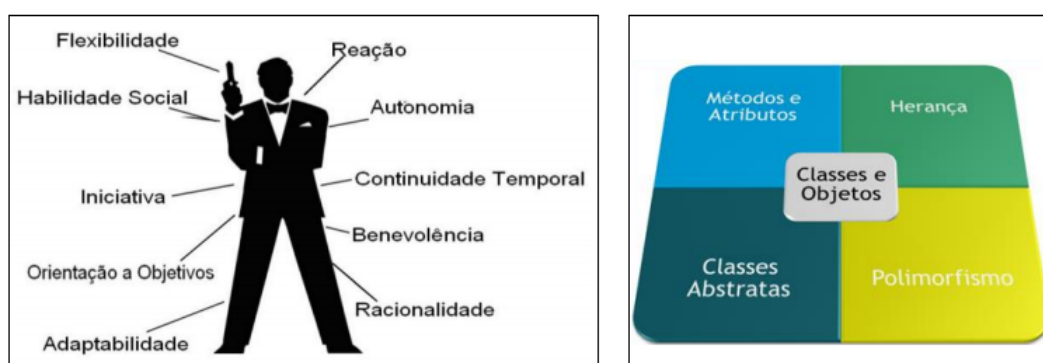
Seguindo uma classificação baseada no trabalho de Russel e Norvig, pode-se classificar as propriedades dos ambientes segundo as seguintes classes [10]:

- **Acessível vs. inacessível:** Um ambiente acessível é aquele em que o agente consegue obter informações completas, precisas e atualizadas sobre o estado do ambiente, sendo que a maioria dos ambientes do mundo real (incluindo, por exemplo, o mundo físico quotidiano e a Internet) são inacessíveis nesta definição.
- **Determinístico vs. não determinístico:** Um ambiente determinístico é aquele em que qualquer ação tem um único efeito garantido, não havendo incerteza sobre o estado que resultará da realização de uma ação;
- **Estático vs. dinâmico:** Um ambiente estático é aquele que pode ser considerado inalterado, exceto pelo desempenho de ações por parte do agente. Por outro lado, um ambiente dinâmico é aquele que possui outros processos e que, por isso, está constantemente a mudar. O mundo físico é um ambiente altamente dinâmico, assim como a Internet;
- **Discreto vs. contínuo:** Um ambiente diz-se discreto se existe um número finito de percepções e ações possíveis para o agente e contínuo caso contrário. Um ambiente pode ser contínuo no que diz respeito às percepções do agente e discreto no que diz respeito às ações (e vice versa).

Analisando as propriedades dos ambientes conclui-se que os ambientes mais complexos para os agentes são os ambientes inacessíveis, não determinísticos, dinâmicos e contínuos. Ambientes com estas propriedades são por vezes designados por ambientes abertos. Embora estes ambientes sejam os mais complexos, verifica-se que os ambientes físicos do mundo real são intrinsecamente abertos [10].

### 3.2 Agentes *vs.* Objetos

Sempre que se fala em agentes e em objetos existe uma falta de rigor nos conceitos e uma falta de clareza nas definições. Objetos são entidades que encapsulam um dado estado de conhecimento, são capazes de realizar operações sobre esse estado, e comunicam entre si por troca de mensagens [3]. Embora as semelhanças entre os conceitos sejam evidentes, as diferenças existem - figura 4.



**Figura 4:** Agente *vs.* Objeto [9]

Os objetos têm controlo sobre o seu próprio estado de conhecimento, mas não têm controlo sobre o seu funcionamento. Os agentes controlam o seu estado e o seu comportamento, são autónomos e, ao contrário dos objetos, podem recusar pedidos de assistência. Esta distinção entre objetos e agentes é frequentemente sumariada pela seguinte frase [10]: *Objects do it for free; agents do it for money.*

Uma outra distinção situa-se ao nível da comunicação. Programadores familiarizados com linguagens orientadas a objetos, como Java ou C++, poderão não conseguir ver algo de inovador na ideia de agentes. No entanto, os objetos comunicam-se através da indicação dos métodos que podem ser invocados a partir da classe desses objetos, tornando estes procedimentos intrínsecos dos objetos em que se desencadeiam.

Nos agentes, o conceito de mensagem e da linguagem a utilizar é definido ao nível do coletivo, e não individualmente.

Por fim, e em termos de comportamento, os agentes são flexíveis, cultivam a autonomia, percebem o seu ambiente e agem de acordo com os seus objetivos [7].

Numa extensão a este raciocínio, os agentes podem ser vistos como um novo paradigma de programação: a Programação Orientada por Agentes.

### **3.3 Agentes *vs.* Sistemas Periciais**

Um Sistema Pericial (SP) tem como principal objetivo o apoio à resolução de problemas e à tomada de decisão num determinado domínio de conhecimento, atuando essencialmente como um consultor, ou seja, os SP [9]:

- lidam com uma representação do ambiente ou universo de discurso, não o manipulando diretamente, nem percecionando, no imediato, o resultado das suas ações;
- destinam-se a assistir os peritos na resolução de problemas numa determinada área do conhecimento, enquanto que os agentes resolvem problemas;
- aplicam-se, geralmente, a tarefas de alto nível, enquanto que os agentes se dedicam a tarefas comuns;
- não têm capacidade de tomar iniciativa nem têm autonomia, respondendo de modo passivo e realizando sempre a mesma ação para os mesmos dados sensoriais.

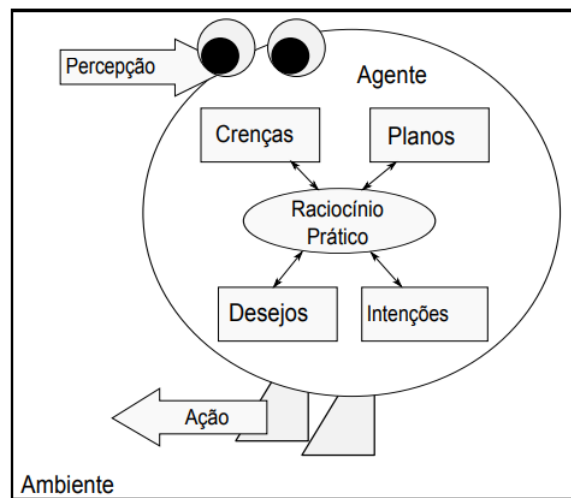
### **3.4 Agentes como Sistemas Intencionais**

Às definições de agente apresentadas acima são usualmente acrescentadas propriedades geralmente atribuídas a humanos. Um agente pode, desta forma, ser caracterizado como um sistema intencional, o qual usa essas propriedades para guiar as suas atitudes no processo de resolução de problemas, e que vão de crenças, a desejos, esperança, entre outros [3].

### **3.5 Agentes de raciocínio dedutivo e prático**

Agentes de raciocínio dedutivo utilizam representações simbólicas do seu ambiente e do comportamento desejado, recorrendo à manipulação sintática dessas mesmas formas, conseguindo, assim, a dedução lógica ou a prova de teoremas.

Agentes de raciocínio prático (figura 5) são responsáveis pela toma de decisões sendo, assim, o raciocínio direcionado a ações, ou seja, o processo de descobrir o que fazer.



**Figura 5:** Agentes de raciocínio prático [11]

Existem diferenças entre os dois tipos de raciocínio. O raciocínio teórico é direcionado para as crenças, enquanto que o raciocínio prático consiste em decidir que estado de coisas se querem alcançar e o decidir como alcançar esses estados de coisas [12].

### 3.6 Classificação de Agentes

Devido ao largo espectro de aplicações de agentes, à dificuldade em definir o que é um "agente inteligente" e à enorme dinâmica que esta área de investigação tem tido ao longo dos últimos anos, existem diversas definições deste conceito [10]. De forma a caracterizar melhor este termo, os agentes são divididos em 3 grandes classes: mobilidade, tarefas que realizam e modo de seleção [3].

Quanto à mobilidade têm-se dois tipos de agente, ou seja:

- Agentes Móveis - movimentam-se entre equipamentos ou redes (e.g., na Internet);
- Agentes Estacionários - são adstritos a um equipamento, do qual não podem migrar.

Quanto às tarefas que realizam têm-se, igualmente, dois tipos de agente, ou seja:

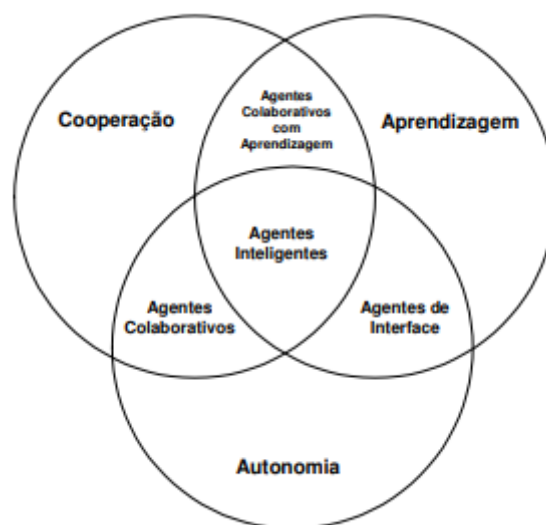
- Agentes Pessoais - realizam tarefas de apoio ao utilizador (podendo mesmo substituí-lo) ao organizar e disponibilizar, de acordo com os requisitos e preferências deste, informação recebida de diferentes fontes de conhecimento;
- Agentes de Serviço - encarregam-se de tarefas de natureza repetitiva, não estando, em princípio, na ribalta.



Quanto ao modo de seleção, há que considerar diferentes tipos de agente, como:

- Agentes Reativos - agem de acordo com a percepção que têm do mundo ou universo de discurso, através da invocação de um conjunto de regras de ação;
- Agentes com Memória - baseiam as suas tomadas de decisão em memórias do passado;
- Agentes orientados por Objetivos - usam, para uma tomada de decisão, para além do conhecimento que têm acerca do mundo ou universo de discurso, informação particular acerca dos problemas em equação (a qual é obtida mediante a invocação de procedimentos, de análise e/ou descoberta de conhecimento);
- Agentes baseados na Utilidade - socorrem-se, quando há que decidir entre diferentes objetivos a cumprir, ou então quando se está face a uma situação de (potencial) conflito, de medidas de satisfação pessoal;
- Agentes Adaptativos - alteram o seu modo de interatuar com o seu mundo ou universo de discurso ao longo do tempo.

Uma outra possibilidade de classificação vem de Nwana, que deriva quatro tipos de agentes principais: agentes colaborativos, agentes colaborativos com capacidade de aprendizagem, agentes de interface e agentes verdadeiramente inteligentes (figura 6). Esta visão vai de encontro à de Wooldridge e Jennings.



**Figura 6:** Categorias de Agentes definidas por Nwana [10]

Já Franklin e Graesser acreditam que um agente, por definição, deve ser um processo em contínua execução e apresentaram a taxonomia representada esquematicamente na figura 7, que divide os agentes autónomos em três grupos principais: agentes biológicos, agentes robóticos e agentes computacionais [10].



**Figura 7:** Categorias de Agentes definidas por Franklin e Graesser [10]

Para concluir, e em jeito de resumo, um agente deve, em princípio, apresentar [3]:

- A capacidade de aquisição de conhecimento;
- Um comportamento orientado por objetivos;
- Uma “rara” facilidade em adquirir novas aptidões.

### 3.7 Arquitetura de Agentes

Uma arquitetura de software pode ser descrita como sendo a configuração dos componentes que constituem um sistema e das conexões que coordenam as atividades entre estes componentes. Quando se fala de arquiteturas de agentes podem-se referir não só à arquitetura interna de cada agente mas também à arquitetura do próprio sistema multiagente, ou seja ao modo de organização dos agentes dentro de um sistema e como estão estruturados os seus relacionamentos e interações [10].

Assim como existem diversas arquiteturas de software, o mesmo ocorre em relação às arquiteturas de agentes, as quais possuem certas características que permitem a avaliação da sua qualidade e eficácia.

Wooldridge e Jennings apresentam uma descrição mais geral das arquiteturas de agentes, baseando-se na forma de construção destes.

As 4 secções seguintes apresentam uma análise mais detalhada e comparativa das arquiteturas existentes.

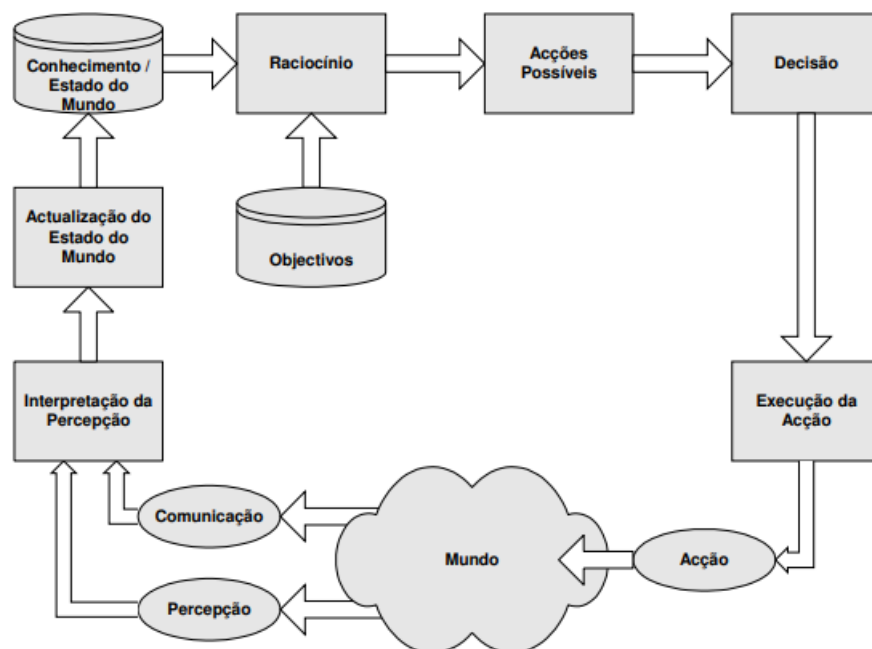
### 3.7.1 Arquitetura Deliberativa

As arquiteturas deliberativas seguem a abordagem clássica da Inteligência Artificial, onde os agentes atuam com pouca autonomia e possuem modelos simbólicos explícitos dos seus ambientes. Estas arquiteturas interpretam em grande parte os agentes como parte de um sistema baseado em conhecimento. As decisões dos agentes são realizadas através de raciocínio lógico. O agente possui uma representação interna do mundo, e um estado mental explícito que pode ser modificado por alguma forma de raciocínio simbólico [10].

Na construção de agentes seguindo a arquitetura referida, colocam-se dois problemas [3]:

- Um problema de transposição e/ou representação: como traduzir o mundo real em termos de um programa em lógica ou teoria?
- Um problema de raciocínio: como levar os agentes a raciocinar?

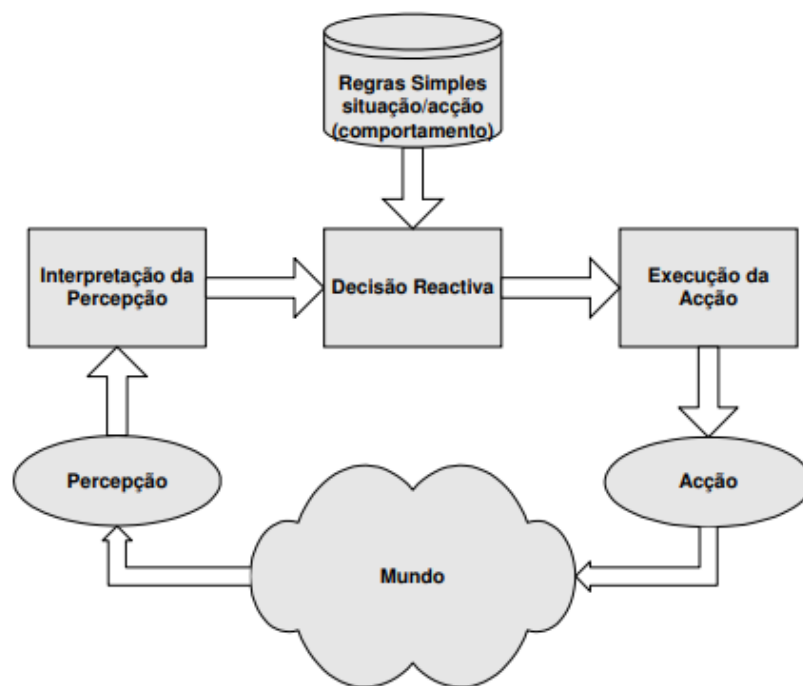
A figura 8 apresenta um esquema típico de uma arquitetura deliberativa. Após a interpretação da percepção proveniente do ambiente, o agente utiliza esta informação para manter atualizada uma representação interna, usualmente simbólica, do estado do mundo. Este estado do mundo em conjunto com os objetivos do agente são utilizados como forma de gerar as possíveis ações a executar pelo agente e seleccionar as mais apropriadas a serem executadas por esse mesmo agente [10].



**Figura 8:** Esquema genérico de uma Arquitetura Deliberativa [10]

### 3.7.2 Arquitetura Reativa

As arquiteturas reativas procuram não utilizar um tipo de modelo ou raciocínio simbólico complexo. Este tipo de arquitetura baseia-se na proposta de que um agente pode desenvolver inteligência a partir de interações com o seu ambiente, não necessitando de um modelo pré-estabelecido. O agente reativo habitualmente toma as suas decisões "em tempo real", com base num conjunto de informação muito limitado, e regras simples de situação/ação que permitem seleccionar um dado comportamento. A informação proveniente dos sensores é usualmente utilizada diretamente no processo de decisão não sendo criada qualquer representação simbólica do mundo - figura 9.



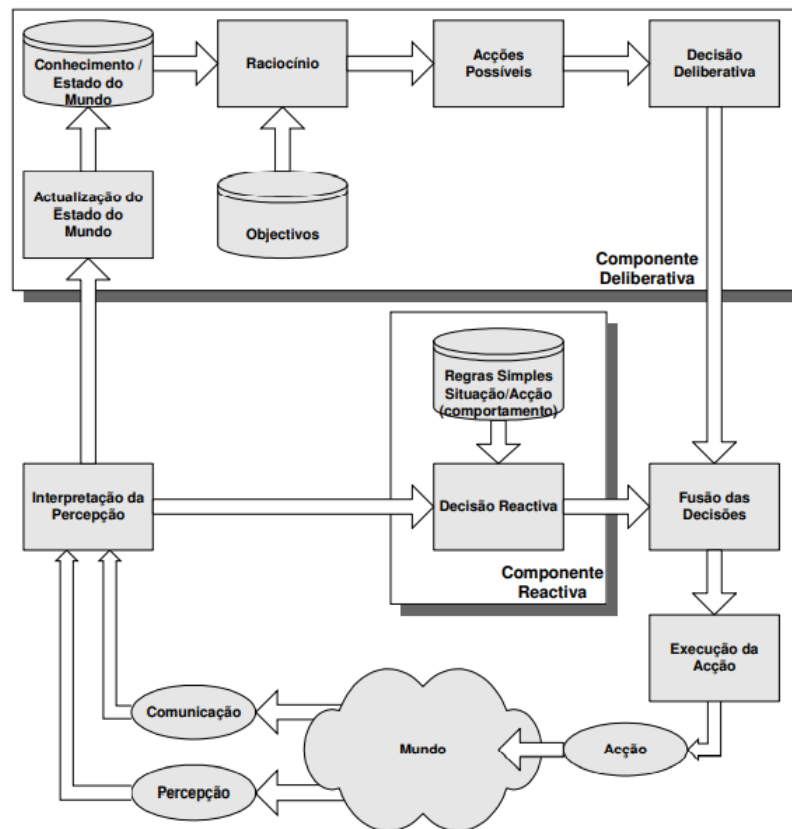
**Figura 9:** Esquema genérico de uma Arquitetura Reativa [10]

A arquitectura reativa tem grandes vantagens, como a simplicidade, a economia, o bom trato computacional e a boa robustez contra falhas, mas também tem desvantagens evidentes, nomeadamente no que se refere à característica de os agentes decidirem unicamente baseados em informação da percepção atual, possuírem uma hierarquia de comportamentos pré-fixada e serem incapazes de realizar ações que impliquem a execução de planos de longo-prazo [10].

### 3.7.3 Arquitetura Híbrida

Como o próprio nome indica, as arquiteturas híbridas (figura 10) combinam as características das duas abordagens anteriores.

Os agentes que utilizam a arquitetura reativa são na sua maioria das vezes simples de desenvolver, uma vez que apenas reagem a estímulos através de ações implementadas pelo programador. No entanto, pelo facto de não apresentarem uma representação simbólica do ambiente que os rodeia tornam-se pouco autónomos e difíceis de se adaptarem. Por outro lado, os agentes deliberativos conseguem-no fazer, mas a um custo elevado, visto que são incapazes de reagir de uma forma rápida a estímulos vindos do exterior.



**Figura 10:** Esquema genérico de uma Arquitetura Híbrida [10]

A ideia principal passa por categorizar as funcionalidades do agente em camadas dispostas hierarquicamente, onde à camada reativa é atribuída alguma forma de prioridade sobre a deliberativa, de tal modo que se aproveite uma das suas características mais importantes, que é o de dar uma resposta rápida a eventos detetados no ambiente ou universo de discurso.

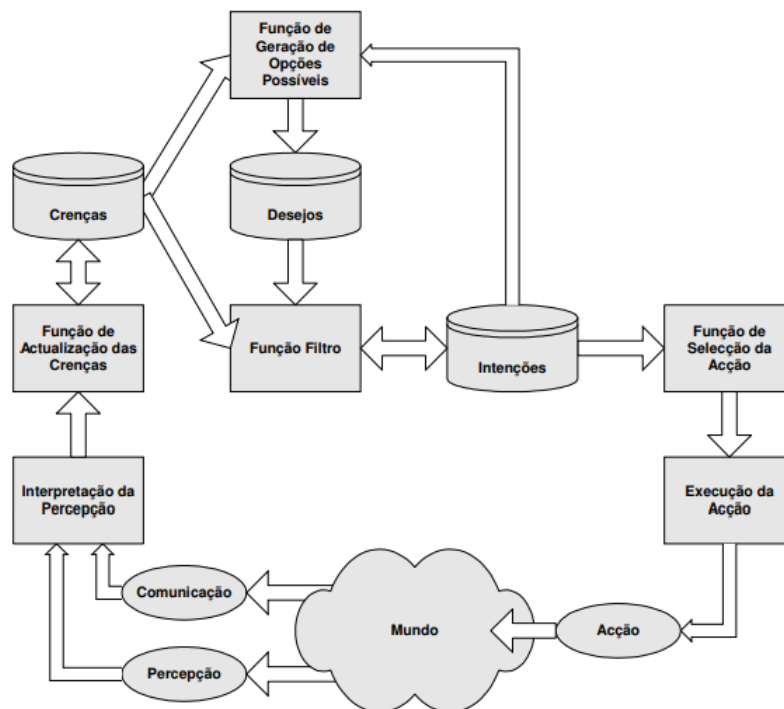
Esta arquitetura apresenta significativos ganhos em termos de adaptabilidade, robustez e desempenho, quando comparada com as que estiveram na sua génese, sendo frequentemente usada em sistemas robóticos.

### 3.7.4 Arquitetura BDI

A arquitetura BDI - *Belief-Desire-Intention* - é uma arquitetura essencialmente deliberativa, onde o estado interno de processamento de um agente é descrito através de um conjunto de estados mentais [10]:

- As crenças de um agente referem-se ao que o agente acredita em cada instante, e descrevem o estado do mundo do agente (o seu conhecimento sobre o ambiente). As crenças representam, desta forma, informação.
- Os desejos de um agente referem-se ao que o agente deseja obter, ou seja, a sua motivação. No entanto, a forma de alcançar esses desejos pode não ser conhecida num dado instante. Os desejos podem ser, num dado momento, inconsistentes. Os objetivos dos agentes resultam de um processo de raciocínio, por parte do agente, que consiste numa escolha de um subconjunto dos desejos que são consistentes e atingíveis.
- As intenções referem-se a um conjunto de ações ou tarefas que o agente seleccionou, comprometendo-se assim na realização dos seus objetivos. As intenções devem ser consistentes internamente e representam o resultado do processo de deliberação.

Esta arquitetura está representada na imagem abaixo.



**Figura 11:** Esquema genérico de uma Arquitetura BDI [10]

## 4 Sistemas Multiagente

Embora a construção de agentes individuais seja muito importante, na grande maioria das aplicações de agentes autónomos, estes não vão trabalhar isolados, mas sim em conjunto com outros agentes e/ou humanos. Desta forma é importante explorar as formas de colocar os agentes a trabalhar em conjunto com outros agentes, ou seja, construir sociedades de agentes designadas vulgarmente por Sistemas Multiagente (SMA). Um dos pontos essenciais para permitir a construção dessas sociedades de agentes consiste em conseguir gerir as interações e as dependências das atividades dos diferentes agentes no contexto do Sistema Multiagente, de forma a que estes possam trabalhar em conjunto de forma harmoniosa, i.e., coordenar esses agentes.

Os SMA têm-se vindo a afirmar como uma das áreas do conhecimento em que se realiza investigação de qualidade, surgindo a todo o momento novos produtos, quer seja nos setores comercial, industrial ou de serviços, ou mesmo em termos de investigação científica [3].

### 4.1 O Conceito de Sistema Multiagente

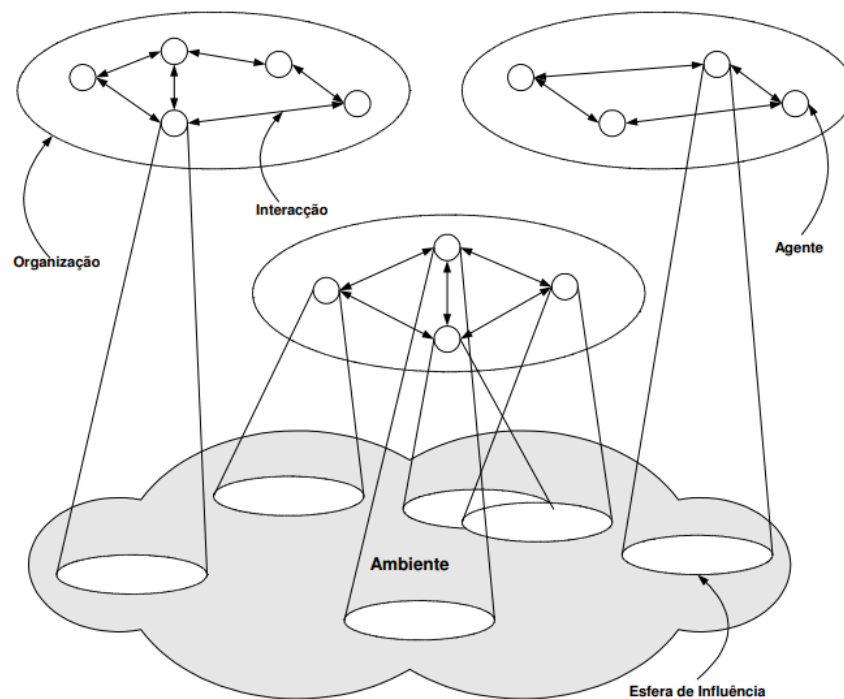
Um Sistema Multiagente (SMA) compreende um conjunto de entidades (agentes) que cooperam por forma a solucionar um dado problema, o que normalmente está além das suas capacidades individuais.

Minsk, em *The Society of Mind*, lançou os SMA como a base para a concretização da inteligência em sistemas computacionais, assumindo, contudo, que cada entidade constituinte pode ser o mais simples possível e que, da sua interação, podem emergir novas formas de inteligência [3].

A coordenação desempenha um papel essencial nos SMA porque estes sistemas são inerentemente distribuídos. Aliás, o tema designado genericamente por coordenação constitui um dos maiores domínios científicos da informática e engenharia da computação.

Os SMA podem ser projetados com um ou mais agentes. Além do mais, pode possuir uma estrutura homogénea, onde possui agentes com arquiteturas iguais; ou heterogéneas, com agentes de diferentes arquiteturas. Devido a esta comunidade de agentes, é necessário, projetar a arquitetura do SMA [10].

Para que um agente possa operar como parte do sistema, é necessária a existência de uma infra-estrutura que permita a comunicação e/ou interação entre os agentes que compõem o SMA - figura 12.



**Figura 12:** Estrutura de um Sistema Multiagente [10]

O Sistema Multiagente vai conter múltiplos agentes, cada qual com diferentes capacidades de perceção e ação no mundo. Cada agente terá uma esfera de influência distinta sobre o ambiente, ou seja, será capaz de influenciar diferentes partes do ambiente. Estas esferas de influência podem coincidir dependendo das relações existentes entre os agentes.

O campo dos Sistemas Multiagente derivou do campo originalmente designado por Inteligência Artificial Distribuída, constituindo atualmente o núcleo deste campo.

## 4.2 Motivação dos Sistemas Multiagente

A motivação principal dos SMA encontra-se relacionada com o facto de grande parte dos problemas mais frequentemente encontrados, serem inerentemente distribuídos de uma ou várias formas. Outras motivações estão relacionadas com:

- A dimensão do problema ser demasiado elevada para poder ser resolvido por um único agente;
- Permitir a interconexão e interoperação de múltiplos sistemas (*Legacy systems*);
- Fornecer soluções para problemas em que os peritos, os conhecimentos ou as informações necessárias para a sua resolução, se encontram distribuídos;



- Permitir uma interface cooperativa homem-máquina mais natural em que ambos funcionam como agentes no sistema;
- Oferecer uma maior clareza e simplicidade conceptual de projeto.
- Paralelismo, Robustez e Escalabilidade

Num SMA, os agentes que o compõem, podem estar a trabalhar em conjunto para atingir um só objetivo geral, ou rumo a objetivos individuais separados que podem, no entanto, estar relacionados, sendo desta forma necessária a interação entre os diferentes agentes no sentido de atingirem os seus próprios objetivos.

A utilização de Sistemas Multiagente na resolução de problemas de Inteligência Artificial apresenta diversos benefícios, nomeadamente o facto de manter a privacidade da informação dos vários agentes envolvidos e, além disto, apresentar uma maior rentabilidade de recursos para problemas onde o conhecimento ou atividade é distribuído. Além disso, existem outras vantagens, tais como:

- Resolução mais rápida de problemas devido ao processamento concorrente;
- Aumento da fiabilidade devido à inexistência de um ponto singular de falha;
- Aumento da capacidade de resposta devido aos sensores, sistemas de processamento e actuadores estarem localizados em conjunto, no interior dos agentes;
- Custos reduzidos.

Para concluir, é importante realçar que nos Sistemas Multiagente não existem mecanismos de controlo global.

### 4.3 SMA centralizado *vs.* descentralizado

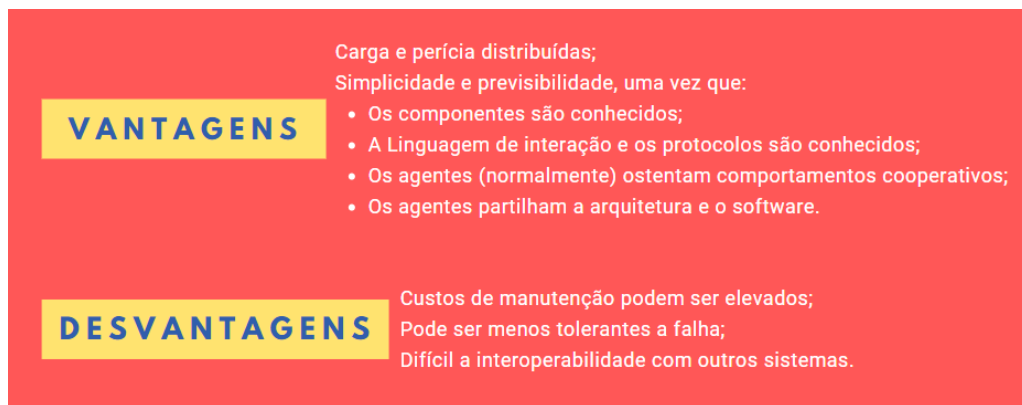
O SMA é centralizado se um agente pensa nas decisões pelo grupo. Aspetos como a coordenação e o sincronismo são favorecidos nesta abordagem. Por exemplo, no funcionamento de uma central de táxis, é o gestor que centraliza toda a informação e toma todas as decisões.

Pelo contrário, o SMA é descentralizado se cada agente apresenta a sua responsabilidade, tomando decisões de acordo com a sua interpretação do ambiente em que se encontra. O controlo descentralizado é o único que pode ser considerado um SMA reativo, pois os agentes nesta abordagem são autónomos, i.e., não há a presença de um líder. Na abordagem centralizada, a presença do líder a tomar as decisões para todos os agentes, torna a autonomia de cada um nula [13].

#### 4.4 SMA fechado *vs.* aberto

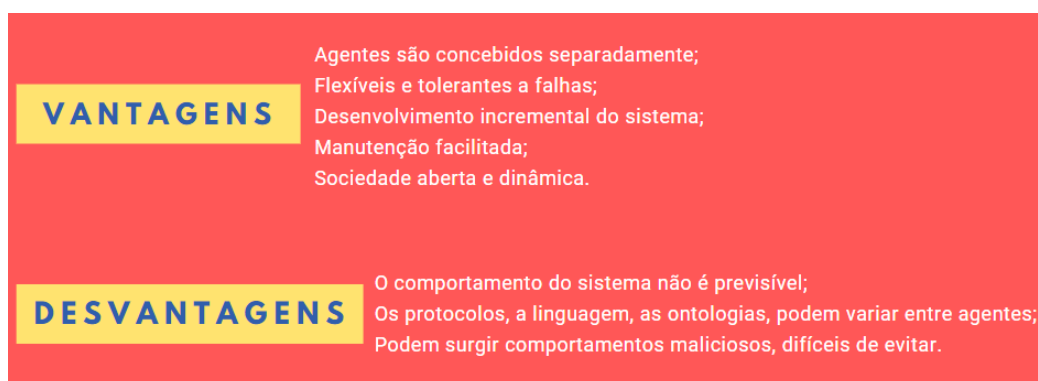
Um Sistema Multiagente fechado apresenta uma arquitetura de desenho estático, com componentes e funcionalidades pré-definidos. As propriedades do sistema são conhecidas antecipadamente [14]:

- Linguagem comum;
- Cada agente pode ser desenvolvido como um *expert*;
- Os agentes são (normalmente) cooperativos;
- Várias pessoas trabalham em prol do desenvolvimento do sistema, ao mesmo tempo.



**Figura 13:** Vantagens e desvantagens do SMA fechado [14]

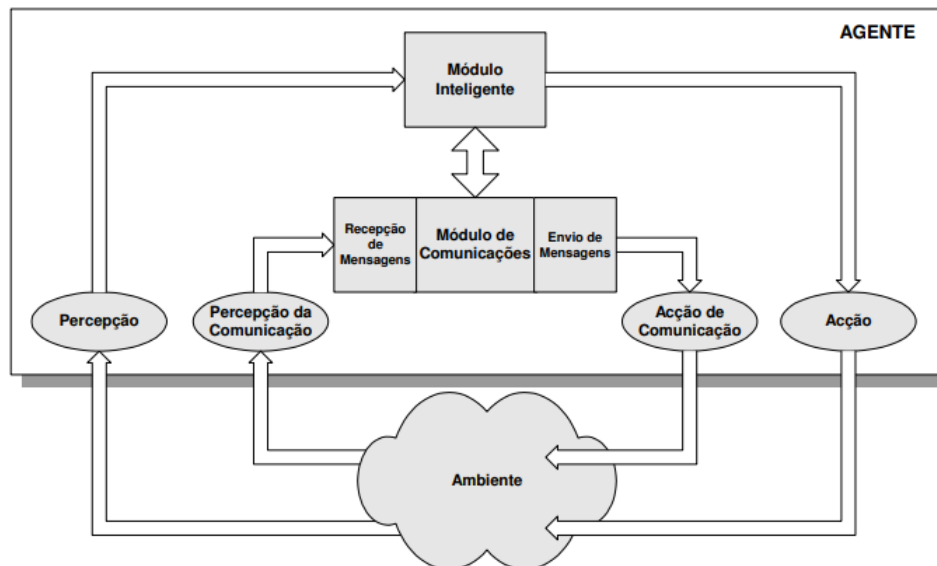
Um Sistema Multiagente aberto é um sistema que não tem um desenho ou arquitetura prévios, apenas agentes no seu seio. Os agentes não têm, necessariamente, consciência da existência dos outros e é exigido um mecanismo para identificar, localizar e procurar outros agentes. Estes podem ser não-cooperativos, maliciosos ou não-confiáveis [14].



**Figura 14:** Vantagens e desvantagens do SMA aberto [14]

## 4.5 Comunicação nos Sistemas Multiagente

Um agente para ser considerado como tal, possui capacidades de percepção, processamento e atuação num dado ambiente. Para além disso, um agente deliberativo possui uma representação interna do seu ambiente, conhecimento e capacidade de raciocinar baseado no seu conhecimento, de forma a decidir em cada instante qual a melhor ação a executar. Da mesma forma, na definição de agente é assumido que um agente tem a capacidade de comunicar e tem habilidade social, ou seja, capacidade para interagir com outros agentes e/ou humanos presentes no seu ambiente[10]. Na figura 15 está representado o esquema genérico de um agente com capacidade de comunicação.

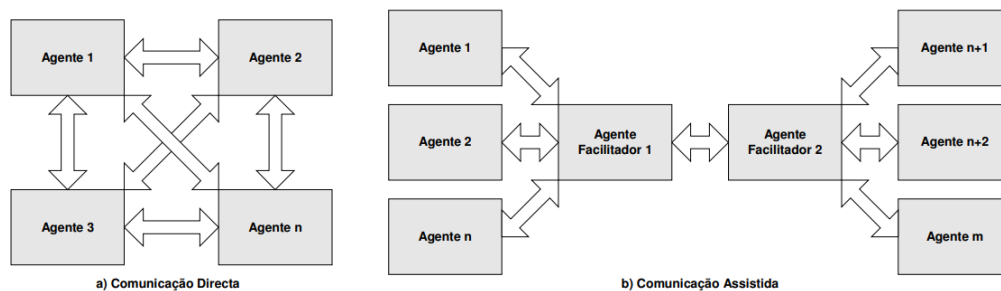


**Figura 15:** Agente com capacidade de comunicação [10]

Huhns e Stephens denotam que o sistema de comunicação entre os agentes pode assumir uma de duas arquiteturas básicas [10], representadas esquematicamente na figura 16.

- Comunicação Direta, onde os agentes tratam da sua própria comunicação sem intervenção de qualquer outro agente. Um dos principais problemas que se coloca nesta arquitetura está relacionado com a inexistência de um elemento coordenador da comunicação, o que pode originar o bloqueio do sistema se, por exemplo, todos os agentes decidirem enviar mensagens ao mesmo tempo.
- Comunicação Assistida, onde os agentes se apoiam em agentes especiais designados "agentes facilitadores", de forma a efetuarem a comunicação com os outros agentes. Esta arquitetura resolve parcialmente o problema da coordenação da comunicação e diminui consideravelmente a complexidade necessária aos agentes individuais na realização de

comunicação. Os agentes não necessitam de armazenar informações detalhadas sobre todos os outros agentes e nem sequer necessitam de saber o seu endereço de forma a comunicarem com eles, pois basta comunicar com o "agente facilitador". No entanto, a existência deste pode introduzir uma certa centralização no sistema e um *bottleneck* no sistema de comunicações, pois caso deixe de funcionar, o sistema de comunicações deixa também de funcionar.



**Figura 16:** Arquiteturas de comunicação de agentes a) direta e b) assistida [10]

#### 4.5.1 Atos de Discurso

A Teoria dos Atos de Discurso iniciou-se com o trabalho do filósofo John Austin e foi mais tarde estendida por John Searle. Esta teoria resulta da análise do discurso humano relativa às ações, pedidos, sugestões, compromissos e respostas. Este é usado como modelo de comunicação aplicado à comunicação dos agentes. O princípio básico da teoria dos atos de discurso é a pressuposto de que as ações de discurso são executadas pelos agentes da mesma forma que quaisquer outras ações e de acordo com o cumprimento dos seus objetivos. No seu estudo, Austin concluiu que os atos de discurso tinham características semelhantes às ações, no sentido em que estes atos poderiam mudar o estado do mundo de forma análoga às ações físicas. Este distinguiu ainda três aspetos essenciais dos atos de discurso [10], [14]:

- A Locução: o ato de construção da frase, ou seja, a articulação da mensagem;
- A Elocução: a ação executada quando é dito algo;
- A "Perlocução": o efeito do ato, i.e., a ação resultante no recetor.

Classificando estes elementos, é possível reduzir a riqueza e a ambiguidade semântica que está subjacente ao ato de discurso. Obviamente, a mensagem recebida pode ser ambígua e de difícil resolução, no entanto, o agente deve ser capaz de a identificar corretamente [3].

## 4.6 Plataformas de Comunicação

A plataforma de comunicação é o meio físico para a transmissão da informação entre os agentes. Sendo os agentes entidades heterogêneas, o protocolo de comunicação assume, desse modo, um papel fundamental para a interpretação dos dados, conhecimento e programas a transmitir. A Internet é, por definição, um veículo importante para a transmissão da informação de e para entidades que configuram os SMA. É uma rede pública, acessível a todos, fácil de usar, tem baixos custos e fornece serviços populares tais como o WWW ou Email. No entanto, a Internet e os seus serviços não resolvem, por si, toda uma infinidade de problemas. Outras plataformas de comunicação para entidades distribuídas, heterogêneas e inteligentes, são necessárias [3].

### 4.6.1 Plataforma CORBA

A plataforma CORBA - *Common Object Request Broker* - permite a interoperabilidade de objetos entre redes. Os objetos são declarados para o sistema através de uma interface que integra um alto nível de abstração (e.g., através da linguagem declarativa IDL). A comunicação entre aplicações é realizada pelo envio, para a arquitetura em questão, de uma descrição do serviço pretendido. É da responsabilidade desta arquitetura encontrar a aplicação que satisfaz os requisitos desse pedido, realizar o pedido e retornar o resultado à aplicação cliente. Os objetos comunicam através da Invocação Remota de Procedimentos.

### 4.6.2 Plataforma DCOM/OLE

A plataforma DCOM/OLE - *Distributed Component Object Model/Object Linking Embedding* - da Microsoft privilegia a interoperabilidade entre objetos desenvolvidos segundo diferentes linguagens de programação, tendo em vista os sistemas operativos Windows.

### 4.6.3 Plataforma JATLite

A plataforma JATLite (*Java Agent Template Lite*) é uma plataforma desenvolvida na Universidade de Stanford, para facilitar a comunicação entre agentes heterogêneos e distribuídos, com recurso à linguagem de programação Java. A comunicação é realizada através da troca de mensagens, especialmente quando a troca é feita através da linguagem KQML (*Knowledge Query and Manipulation Language*).

## 4.7 Linguagens de Comunicação

Uma linguagem de comunicação configura a forma pela qual é comunicado o conteúdo de uma mensagem [3].

Nos sistemas orientados ao agente, a linguagem usada deve ser comum e o conteúdo semântico deve ser independente do agente. Por outro lado, os agentes de software para interagir entre si necessitam de certos recursos, tais como:

- Uma linguagem comum;
- Uma forma de interpretar o conhecimento trocado;
- A capacidade de trocar esse conhecimento.

Neste caso, tal como nas linguagens de programação convencional, há que atender:

- Às linguagens do tipo procedimental;
- Às linguagens do tipo declarativo.

As linguagens referidas em primeiro lugar permitem a troca de programas, procedimentos ou guiões, que são executados direta e eficientemente. As linguagens do tipo declarativo permitem a troca de definições e regras, as quais são processadas de forma indireta [3].

Por outro lado, muitas são as linguagens que têm sido apresentadas de forma a resolver o problema da comunicação entre agentes, sendo de mencionar:

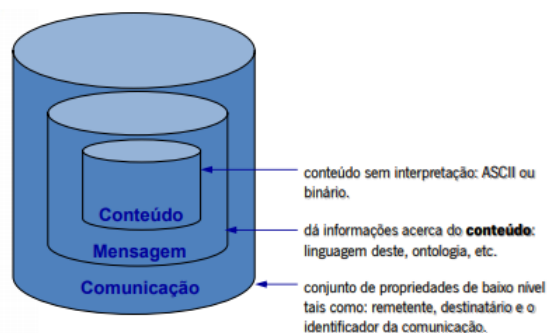
- KQML (*Knowledge Query Manipulation Language*);
- KIF (*Knowledge Interchange Format*);
- FIPA ACL (*Foundation Intelligent Physical Agents/Agent Communication Language*);
- XML (*Extended Markup Language*);
- RDF (*Resource Description Format*);
- BRML (*Basic Rule Markup Language*);
- DAML (*DARPA Agent Markup Language*).

#### 4.7.1 Linguagem KQML

A KQML - *Knowledge Query Manipulation Language* - é uma linguagem para troca de informação e conhecimento baseada na troca de mensagens. É caracterizada por especificar toda a informação necessária à compreensão do conteúdo da mensagem [10].

A KQML assume-se como uma linguagem de comunicação entre agentes que se desenvolve segundo três camadas (figura 17), dadas na forma [3]:

- Conteúdo, o qual passa não só pela explicitação da informação a ser transmitida, mas também pela indicação da linguagem em que esta é representada;
- Mensagem, a qual não só é concebida com base no conteúdo, mas também transporta uma intenção. Aos itens que dão corpo à mensagem, é ainda possível complementá-la com informação como a identidade dos agentes ou a ontologia adotada;
- Comunicação, a qual passa pela consideração de um conjunto de parâmetros de baixo nível (e.g., identidade do emissor/recetor ou identificador único associado à mensagem), sem os quais não é possível efetuar a transmissão de informação entre agentes.



**Figura 17:** A Linguagem KQML como linguagem por camadas [14]

Cada mensagem KQML é composta por uma performativa (que pode ser interpretada como a classe de mensagem) e por um determinado número de parâmetros (cada qual especificando um atributo e seu respetivo valor). Na figura 18 é apresentado um exemplo de uma mensagem KQML [10].

```
(ask-one
  :content (SCHEDULE LPR)
  :sender ECO
  :receiver TIMETABLE_AGENT
  :reply-with SCH_LPRI
  :language SCHEDULE_UNILANG
  :ontology TIMETABLING
)
```

**Figura 18:** Exemplo de uma mensagem KQML [10]

A figura abaixo apresenta os principais parâmetros utilizados em mensagens KQML.

Parâmetro	Significado
:content	Conteúdo da mensagem
:sender	Emissor da mensagem
:receiver	Receptor da mensagem
:language	Linguagem do conteúdo da mensagem
:ontology	Ontologia utilizada no conteúdo da mensagem
:force	Especifica se o conteúdo da mensagem é definitivo ou o emissor o poderá alterar no futuro.
:reply-with	Definição se o emissor da mensagem aguarda por uma resposta e se tal for verdadeiro, qual o identificador para essa resposta
:in-reply-to	Referência ao identificador de resposta fornecido por um reply-with prévio

**Figura 19:** Parâmetros de uma mensagem KQML [10]

As principais características da linguagem KQML são [3]:

- as mensagens são independentes dos conteúdos que transportam;
- as mensagens socorrem-se de atitudes para gerir o conteúdo das mensagens (e.g., inserir, requerer, interrogar, ...);
- as primitivas da linguagem definem as ações ou operações admissíveis;
- um grupo de agentes que fale KQML pode ser enriquecido com recurso a agentes denominados facilitadores, os quais disponibilizam serviços que vão desde o registo de dados em bases de dados, ao encaminhamento de mensagens e à corretagem.

As principais vantagens da utilização desta linguagem, relacionam-se com o facto de esta ser uma linguagem standard e de efectuar a separação entre o domínio da "performativa" KQML e a semântica da mensagem [10].

#### 4.7.2 Linguagem KIF

A linguagem KIF - *Knowledge Interchange Format* - denota um formalismo computacional para a troca de conhecimento entre programas. É uma linguagem do tipo declarativo e suporta a interpretação de expressões formuladas em termos da Lógica Predicativa de Primeira Ordem.

Esta linguagem permite descrever propriedades de um dado domínio, relações entre os objetos presentes nesse domínio e propriedades gerais desse domínio. De forma a permitir a expressão destes conceitos, o KIF providencia operadores comuns em lógica de primeira-ordem: operadores booleanos e lógicos (and, or, not ,etc.), quantificadores universais e existenciais, etc. Providencia também estruturas de dados típicas tais como números, caracteres, strings ou listas e relações sobre esses tipos de dados.



Além da descrição de entidades, factos e conhecimento, esta linguagem permite ainda a descrição de procedimentos, isto é, a descrição de sequências de ações para que os agentes as executem [3], [10].

#### 4.7.3 Linguagem ACL

A linguagem ACL da FIPA - *Agent Communication Language* - permite uma abordagem diferente ao problema da comunicação entre agentes, sendo composta por [3]:

- o KQML como linguagem de comunicação;
- o KIF como formalismo;
- ontologias que definem um conjunto de classes, funções e alfabetos com aplicação a um determinado mundo ou universo de discurso, a que se associa uma axiomática que permite a interpretação das mensagens.

A principal diferença entre a ACL e o KQML está relacionada com as performativas providenciadas por cada linguagem. A linguagem ACL procura providenciar uma semântica mais compreensível do que a linguagem KQML. Uma das vantagens mais significativas desta linguagem, relativamente ao KQML, consiste na disponibilização de performativas mais adequadas à execução de processos de negociação [10].

#### 4.7.4 Linguagem XML

A XML - *eXtended Markup Language* - é, neste momento, a linguagem mais promissora para o armazenamento e difusão de informação na Web. A linguagem HTML é sem dúvida um padrão para a escrita de páginas publicadas na Internet, mas sofre de limitações em matéria de armazenamento da informação. Pelo contrário, a XML oferece ao utilizador uma linguagem com um alto nível de flexibilidade que permite descrever virtualmente qualquer tipo de informação [3]. Um exemplo da utilização desta linguagem encontra-se na figura abaixo.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<note>
  <to>Tove</to>
  <from>Jani</from>
  <heading>Reminder</heading>
  <body>Don't forget me this weekend!</body>
</note>
```

**Figura 20:** Exemplo de linguagem XML [15]

## 4.8 Ontologias

Como foi descrito anteriormente, para que seja possível a interação entre os agentes que compõem um SMA é essencial que exista uma plataforma de comunicação, uma linguagem de comunicação e que os agentes possuam um vocabulário comum bem definido.

No entanto, é usual que diferentes agentes possuam diferentes terminologias para o mesmo significado, ou idêntica terminologia para significados diferentes. Este problema pode ser resolvido se eles partilharem uma ontologia comum. A ontologia fornece o vocabulário de representação para o domínio em questão, e um conjunto de definições e axiomas que restringem o significado dos termos nesse vocabulário, de forma a permitir uma interpretação consistente e única. A adesão a uma ontologia comum garante a consistência (a mesma expressão tem o mesmo significado em qualquer agente) e a compatibilidade (qualquer conceito é designado pela mesma expressão em qualquer agente) da informação presente no sistema [3].

Existem diversos tipos de ontologias, entre os quais de destacam [10]:

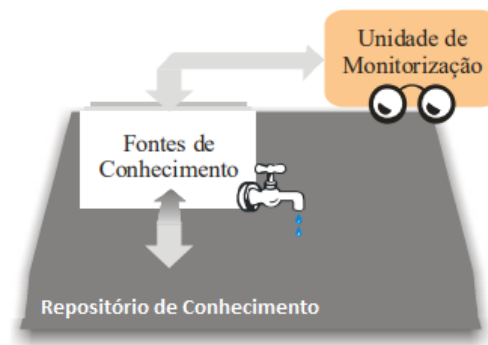
- Ontologias genéricas - definem termos suficientemente genéricos e frequentemente usados como base para permitir a definição de outros termos compostos;
- Ontologias de domínio - baseadas nas genéricas mas especializadas para uma determinada área;
- Ontologias de modelização e representação - disponibilizam as primitivas que são utilizadas nas ontologias genéricas e de domínio;
- Ontologias de aplicação - contêm as definições necessárias à modelização do conhecimento numa área específica.

As ontologias são cada vez mais importantes para o desenvolvimento e utilização de sistemas inteligentes, assim como para a interoperação de sistemas heterogêneos.

## 4.9 Sistemas Baseados em Quadros Negros

Um Sistema Baseado em Quadros Negros (figura 21) configura uma espécie de meta-arquitetura, i.e., uma arquitetura a partir da qual é possível gerar novas arquiteturas [14].

Neste caso, os Agentes não comunicam de maneira direta, mas através de um quadro-negro. O quadro-negro funciona como uma "base de dados" com mensagens de perguntas e respostas, onde um Agente deposita uma mensagem de pergunta e espera que outro Agente colete esta mensagem, processe e deposite uma mensagem de resposta. Estas mensagens podem ser interpretadas como mensagens em que Agentes solicitam recursos de outros Agentes [16].



**Figura 21:** Modelo do sistema baseado em Quadros Negros (adaptado de [14])

#### 4.10 Aprendizagem em Sistemas Multiagente

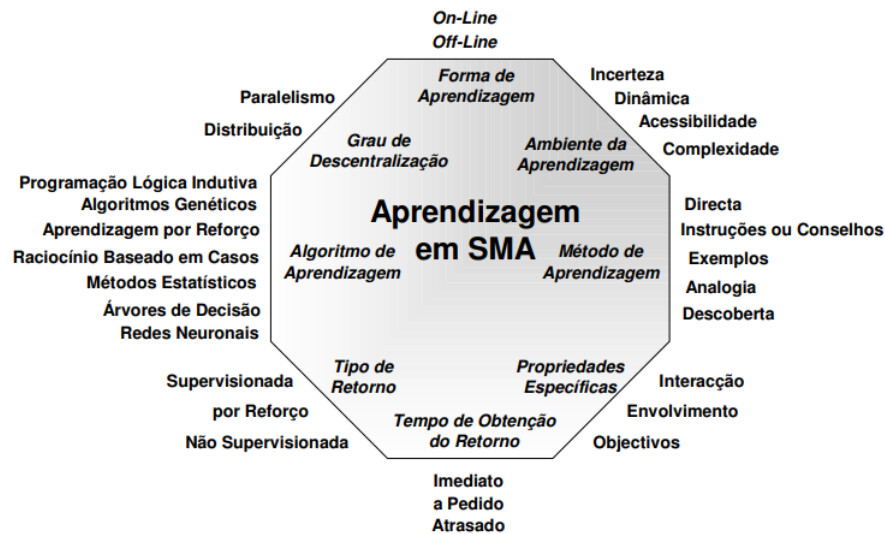
A aprendizagem em Sistemas Multiagente é um campo de investigação bastante recente mas muito importante dentro da IAD.

Os SMA possuem uma complexidade estrutural e de funcionamento considerável, sendo, desta forma, impossível determinar à partida, o conjunto de comportamentos e as atividades concretas que irão ser executadas pelo sistema. Desta forma, o desenvolvimento de agentes capazes de aprenderem e de se adaptarem de forma a melhorarem o seu funcionamento no contexto do SMA é importante.

Segundo Weiss, podem ser considerados dois tipos principais de aprendizagem multiagente [10]:

- Aprendizagem Interativa: situações em que os agentes, de forma colectiva, procuram atingir os seus objectivos de aprendizagem comuns;
- Aprendizagem Individual: situações em que cada agente procura atingir os seus próprios objetivos de aprendizagem mas em que a sua aprendizagem é afetada por outros agentes, crenças, intenções, etc.

As duas categorias de aprendizagem descritas cobrem um largo espectro de tipos de aprendizagem mais específicos que podem ocorrer no contexto de um SMA. Na figura 22, é apresentado um diagrama que resume os principais tópicos de investigação no âmbito da aprendizagem em SMA.



**Figura 22:** Características da Aprendizagem em SMA [17]

Existe uma grande quantidade de algoritmos para permitir realizar a aprendizagem em agentes ou outras entidades computacionais. De entre os mais utilizados destacam-se:

- Métodos Estatísticos;
- Raciocínio Baseado em Casos ("Case Based Reasoning");
- Árvores de Decisão;
- Redes Neurais;
- Aprendizagem por Reforço;
- Programação Lógica Indutiva;
- Algoritmos Genéticos.

#### 4.11 Coordenação em Sistemas Multiagente

Quando se participa numa conferência bem organizada ou se assiste a um jogo de futebol entre duas equipas capazes de realizar boas jogadas coletivas, é fácil perceber que existem ações de grupo bem coordenadas. No entanto, também é fácil perceber quando não há coordenação, como por exemplo quando se espera horas para embarcar num avião porque não existe uma porta para realizar o embarque, ou quando se chega a um hotel onde se tinha uma reserva e este está cheio.

Existem múltiplas definições distintas para o conceito de coordenação, entre as quais [10]:

- "Ajustamento ou interação harmoniosa"[AHD, 2000];
- "O ato de trabalhar em grupo de forma harmoniosa"[Malone et al., 1990];
- "Processo pelo qual um agente raciocina acerca das suas ações e das ações dos outros para tentar assegurar que a comunidade atue de maneira coerente"[Jennings, 1996];
- "O esforço conjunto de atores independentes no sentido de atingirem objetivos mutuamente definidos"[NSF-IRIS, 1989];
- "O ato de trabalhar em conjunto"[Malone e Crowston, 1991].

A coordenação pode então ser vista, em geral, como o ato de trabalhar em conjunto de forma harmoniosa no sentido de atingir um objetivo comum.

#### 4.11.1 SMA Cooperativos *vs.* Competitivos

Podemos distinguir duas abordagens na construção de Sistemas Multiagente: sistemas compostos por agentes cooperativos e sistemas compostos por agentes competitivos, muitas vezes designados por egoístas (*self-interested*) [10]:

- Sistemas Multiagente cooperativos - os agentes negociam de forma a atingirem um ou mais objetivos em comum;
- Sistemas Multiagente competitivos - cada agente tem a sua própria motivação. Este não está interessado no bem da comunidade mas sim, em obter a sua satisfação pessoal.

Em cenários que envolvam a aquisição de bens ou serviços, tais como o comércio eletrónico na Internet, este último tipo de Sistema Multiagente é muito mais realista [10].

Independentemente de serem cooperativos ou competitivos, os agentes que formam um SMA irão interagir entre si. Esta interação é intrínseca ao próprio conceito de agente que pressupõe a convivência como forma de um agente atingir os seus próprios objetivos. Estas interações pressupõem que agentes conheçam outros agentes presentes no ambiente ou, pelo menos, que saibam que não são os únicos. No entanto, estas interações têm de ser convenientemente coordenadas pois caso contrário estes sistemas de agentes pode degenerar numa sociedade completamente descoordenada e caótica.

## 5 Ferramentas para a Construção de Agentes

De seguida são abordadas diferentes ferramentas para construção de agentes e ainda é feita a referência a alguns sistemas integrados de agentes.

### 5.1 JADE

JADE (*Java Agent DEvelopment Framework*) - figura 23 - é uma estrutura de software, em código aberto, totalmente implementada em Java, que permite a construção de aplicações baseadas em agentes e que simplifica a implementação dos SMA por meio de um *middleware* que atende às especificações FIPA. Um sistema baseado em



Figura 23: JADE [18]

JADE pode ser distribuído entre máquinas e a configuração pode ser controlada por meio de uma GUI remota. A configuração pode ser alterada em tempo de execução, movendo os agentes de uma máquina para outra, quando e da forma que for necessária.

Além da abstração do agente, o JADE fornece um modelo simples, mas poderoso, de execução de tarefas, comunicação de agentes *peer to peer* com base no paradigma de passagem de mensagens assíncronas, um serviço de páginas amarelas que suporta o mecanismo de descoberta de assinaturas e muitos outros recursos avançados que facilitam o desenvolvimento de um sistema distribuído.

A arquitetura de comunicação oferece mensagens flexíveis e eficientes, onde o JADE cria e gerência uma fila de mensagens ACL recebidas, que são privadas para cada agente. O mecanismo de transporte, em particular, é como um camaleão porque se adapta a cada situação, escolhendo de forma transparente o melhor protocolo disponível [18].

As principais vantagens do JADE estão presentes a nível da interoperabilidade, do uso de um standard bem fundamentado, da portabilidade do código e do conceito de agente [3].

### 5.2 ZEUS

ZEUS - figura 24 - é um conjunto de ferramentas para construção de agentes desenvolvido pelos laboratórios da British Telecom. Esta ferramenta foi implementada em Java de modo a retirar benefício das características desta linguagem: independência da plataforma, execução concorrente (multi-threading), e orientação à Internet.

Além de providenciar uma arquitetura para a construção de agentes de software, o ZEUS fornece um conjunto de ferramentas que ajudam na definição da informação manipulada, isto é, na definição de restrições, tarefas e ontologias que alimentarão um gerador de código [3].



**Figura 24:** ZEUS Agent Generator [19]

A principal vantagem desta ferramenta relaciona-se com a sua capacidade de construir, colocar em funcionamento e controlar agentes com pouco esforço de programação e portabilidade máxima. É também capaz de equipar cada agente com mecanismos de comunicação e coordenação.

### 5.3 SICStus-Prolog

O SICStus-Prolog é uma implementação da linguagem de programação em lógica PROLOG, sendo esta uma linguagem que faz uso de um subconjunto da lógica de primeira ordem (Cláusula de Horn) como forma de produzir programas curtos e declarativos.

Este software possibilita a criação de agentes com mecanismos de raciocínio complexos suportados por lógica [3].

### 5.4 JINI

JINI é um conjunto de APIs (*Application Programming Interfaces*) e protocolos de rede que possibilitam a criação de sistemas distribuídos. Fazendo uso de RMI e de mecanismos de serialização de objetos fornecidos pelo Java, esta ferramenta fornece elevada portabilidade.

É uma estrutura altamente flexível e a tolerância a falhas é obtida através da inexistência de um único ponto de falha [3].

## 5.5 FIPA-OS

O FIPA-OS é um conjunto de ferramentas open-source para o desenvolvimento de agentes compatíveis com o padrão da FIPA (*Foundation for Intelligent Physical Agents*).

A FIPA é uma organização internacional que promove a indústria dos agentes inteligentes, através de especificações abertas, que suportam a interoperabilidade entre estes e a sua computação [20].

Nesta ferramenta, são definidos três tipos de componentes: obrigatórios (componentes que apontam para a implementação de interoperabilidade e portabilidade), com implementações comutáveis, e opcionais (e.g., a JESS (uma outra ferramenta) fornece um mecanismo para construir agentes FIPA-OS que fazem uso das vantagens existentes em sistemas periciais) [3].

## 5.6 JACK

JACK Intelligent Agents é uma estrutura em Java para o desenvolvimento de sistemas multiagentes.

Tem como objetivo construir, executar e integrar sistemas multiagentes de nível comercial usando uma abordagem baseada em componentes. É um dos poucos sistemas multiagentes que usa o modelo de software BDI (*Belief–Desire–Intention*) e utiliza a sua própria linguagem baseada em Java e as suas próprias ferramentas de planeamento gráfico [21].

Para concluir, é importante referir que existem muitas outras iniciativas no campo das arquiteturas e ferramentas para o desenvolvimento de agentes. No entanto, as iniciativas comerciais centram-se sobretudo na tecnologia de agentes móveis.



## 6 Aplicações de Agentes e Sistemas Multiagente

O número de aplicações potenciais da tecnologia dos Agentes a nível industrial e comercial é enorme. De entre estas aplicações destacam-se algumas infra mencionadas [10].

- Aplicações Industriais: aplicações na área das telecomunicações, controlo de fabrico e controlo de processos, distribuição de energia elétrica, controlo de tráfego aéreo e até mesmo sistemas de transportes.
- Agentes de Pesquisa de Informação: devido ao enorme crescimento verificado na Internet ao longo dos últimos anos e devido à natureza dinâmica e heterogénea da informação, as aplicações de agentes de pesquisa, recuperação e filtragem desta na Internet constituem uma área em franca expansão no âmbito dos agentes.
- Comércio Eletrónico: o enorme crescimento do comércio eletrónico nos últimos anos e a evidente aplicabilidade dos agentes a este domínio levaram ao aparecimento de inúmeras aplicações como mercados electrónicos para B2C - *business-to-consumer* - e para B2B - *business-to-business*.
- Aplicações de Entretenimento: os jogos e outros sistemas destinados ao lazer, sempre foram uma das aplicações mais relevantes de grande parte da tecnologia humana. De entre as aplicações de agentes neste domínio destacam-se os jogos, o desenvolvimento de personagens virtuais e histórias interativas.
- Aplicações Médicas: a área da saúde sempre foi uma das áreas de aplicação da Inteligência Artificial. Sistemas Periciais tais como o sistema de diagnóstico médico MYCIN, encontram-se entre as mais mediáticas e bem sucedidas realizações da IA. As principais áreas de utilização situam-se ao nível de tarefas tais como o controlo de robôs e outros equipamentos hospitalares e sistemas de tratamento de pacientes distribuídos.
- Agentes para Simulação: a utilização de agentes em simuladores encontra-se cada vez mais generalizada. As áreas de aplicação neste contexto incluem desde simuladores de condução, voo, combate aéreo, futebol, produção e manufatura e diversas áreas da robótica.
- Controlo de Robôs: a utilização de agentes no controlo de robôs destina-se a obter uma navegação segura e eficiente e um funcionamento global versátil do robô. Na maioria das aplicações, o controlo de robôs efetuado diretamente por humanos é impossível e como tal o recurso a agentes é a solução mais aconselhável.

## 6.1 ARCHON

A Iberdrola, uma empresa espanhola que atua no domínio da energia decidiu desenvolver um conjunto de sistemas de apoio à decisão (SAD) com o objetivo de reduzir a carga cognitiva dos operadores em situações críticas e diminuir o tempo de resposta à tomada de decisões.

ARCHON fornece uma plataforma de software descentralizada que oferece o controlo e o nível de integração necessários para ajudar os subcomponentes a trabalharem juntos.

Esta plataforma foi desenvolvida inicialmente em Lisp (primeiros protótipos em Prolog) e finalmente reescrita em C++. Os principais conceitos teóricos envolvidos no Archon estavam relacionados com a sofisticada arquitetura de Agentes, que possui, além de todas as facilidades de comunicação para interação, um complexo módulo de tomada de decisão, baseado em regras, responsável por uma adequada cooperação entre os agentes existentes [22].

Neste projeto, sete agentes estão a ser executados em cinco máquinas diferentes. Os agentes são: BAI (*Black-out Area Identifier*), CSI-D e CSI-R (*pre-existing Control System Interface*), BRS (*Breaks and Relays Supervisor*), AAA (*Alarms Analysis Agent*), SRA (*Service Restoration Agent*), and UIA (*User Interface Agent*).

O agente BAI identifica quais elementos da rede estão inicialmente fora de serviço. CSI é o *front-end* da aplicação para os computadores do sistema de controlo e consiste em dois agentes: CSI-D - deteta a ocorrência de distúrbios e pré-processa as mensagens de alarme cronológico e não cronológico que são usados pelos agentes AAA, BAI e BRS; e o CSI-R - deteta e corrige consistências na base de dados de instantâneo da rede, calcula a potência que flui por ele e disponibiliza-o para o SRA e o UIA. O agente BRS deteta a ocorrência de uma perturbação, determina o tipo de falha, gera uma lista ordenada de hipóteses de falha, valida as hipóteses e identifica o equipamento com defeito. O agente AAA tem objetivos semelhantes aos do BRS. O agente SRA elabora um plano de restauração de serviço para retornar a rede a um estado estável após a ocorrência de uma falha. O agente implementa a interface entre os usuários e o SMA [23].

Devido à ativação paralela de tarefas, a eficiência é alcançada. A confiabilidade é elevada porque mesmo se um dos agentes deixar de funcionar, os restantes podem produzir resultados (não os melhores), que poderiam ser usados pelo operador.

O uso de SMA fornece melhores resultados porque leva em consideração vários tipos de conhecimento e dados. Além disso, o sistema é robusto porque há funcionalidades sobrepostas, o que significa que resultados parciais podem ser produzidos no caso de falha do agente. O sistema é aberto, logo novos agentes podem ser adicionados de forma incremental.

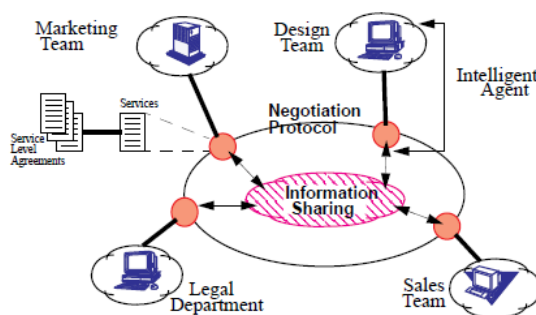
Desta forma, este foi um projeto de sucesso que teve como objetivo a implementação de uma plataforma de sistema multiagente, permitindo a cooperação entre sistemas heterogêneos e complexos [22].

## 6.2 ADEPT

O processo empresarial consiste em fornecer aos clientes um orçamento para a instalação de uma rede para a prestação de um determinado tipo de serviço de telecomunicações. O processo é dinâmico e imprevisível, tem um alto grau de simultaneidade natural e é necessário respeitar os limites departamentais e organizacionais. No sistema multiagente, cada departamento é representado por um agente, e todas as interações entre eles assumem a forma de negociações [23]. Todas estas negociações são centradas num objeto multi-atributo, onde os atributos são, por exemplo, o preço, a qualidade, a duração de um serviço, etc.

O ADEPT - figura 25 - propõe um método de abordagem para estruturação de um projeto e desenvolvimento de sistemas de gestão de processos de negócios. Esse modelo é necessário para capturar a riqueza das interações que ocorrem ao estabelecer acordos neste domínio. O modelo cobre todo o processo de geração de ofertas iniciais, avaliação de ofertas e contrapropostas caso as ofertas sejam inaceitáveis.

O modelo possui duas bases de conhecimento: uma declarativa e uma procedimental. A primeira, representada como uma rede causal, modela explicitamente o que está a ser negociado e o porquê da negociação ocorrer, ou seja, define o contexto de negociação. Por outro lado, a base de conhecimento procedimental, representada como um conjunto de estratégias e mecanismos de seleção entre elas, especifica quais as ações que devem ser tomadas face ao conhecimento declarativo [24].



**Figura 25:** ADEPT [24]

Os agentes do tipo ADEPT não realizam a totalidade dos processos de negócio e, desta forma, muito do trabalho é, em última análise, realizado por humanos ou outro software que tenha uma interface externa com este tipo de agentes [24].

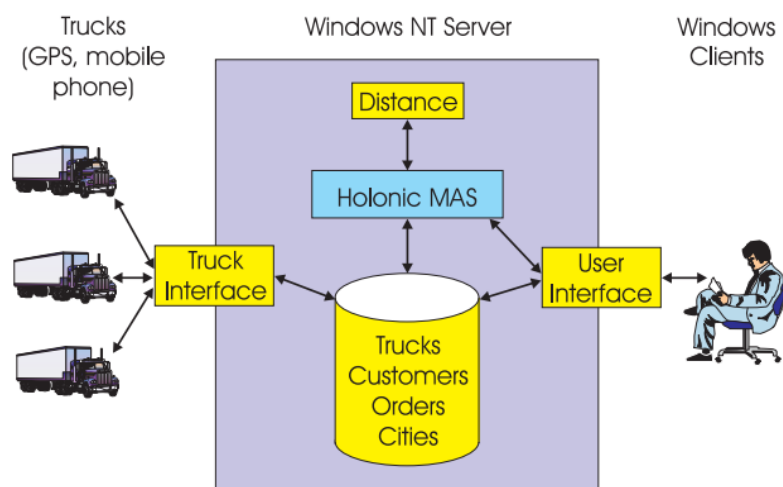
### 6.3 TeleTruck

O TeleTruck é um protótipo de aplicação desenvolvido em colaboração com uma empresa de expedição. Cada entidade é um agente inteligente e possui um objetivo e meios de comunicação próprios para fornecer os recursos para os planos de transporte de acordo com seu papel na sociedade. No sistema TeleTruck são utilizados diferentes tipos de técnicas de negociação para a atribuição de tarefas de transporte numa rede de companhias marítimas.

A ideia central subjacente à abordagem TeleTruck é modelar os objetos físicos básicos (motoristas, camiões, reboques, containers), do domínio de transporte, explicitamente por agentes básicos. Neste domínio, os componentes têm propriedades específicas que restringem o seu uso, como por exemplo, a capacidade de armazenamento de um container, a possibilidade de carregar um camião pela lateral ou por trás, ou mesmo um motorista que não fala alemão e, portanto, não deve ser enviado para a Alemanha.

O TeleTruck é um sistema aberto, no sentido de que outros modos de transporte (seja por comboio, navio ou avião) podem ser levados em consideração facilmente.

A figura 26 representa uma visão geral dos módulos que formam o sistema TeleTruck. Os camiões são equipados com computadores de bordo que contêm uma facilidade de comunicação e um sistema de posicionamento global (GPS) que permite determinar a posição do camião. As informações de entrada do GPS e as mensagens do motorista são recebidas e armazenadas numa base de dados SQL. O núcleo do cenário é o sistema multiagente que contém a representação dos componentes do transporte e é responsável pelo planeamento das ordens de transporte. A programação da rota é auxiliada por um módulo de *routing* que fornece a distância e o tempo de direção entre quaisquer duas cidades no mapa de referência [25].



**Figura 26:** Arquitetura do TeleTruck [25]

As principais características do TeleTruck são que este usa uma abordagem multiagente em vez de técnicas comuns, que os agentes refletem diretamente os objetos físicos do domínio de transporte e, portanto, são agentes holónicos [23].

## 6.4 RoboCup

O campeonato do mundo de futebol de robôs, RoboCup, é uma iniciativa científica internacional com o objetivo de fazer avançar o estado da arte dos robôs inteligentes. Quando estabelecido em 1997, a missão original era [26]:

*"No ano de 2050, uma equipa de robôs autónomos humanóides, ser capaz de vencer a equipa campeã do mundo de futebol, num encontro disputado de acordo com as regras da FIFA". [Kitano, 1997]*

O objetivo desta iniciativa é promover a investigação em Robótica Inteligente e Inteligência Artificial através de um desafio que seja simultaneamente estimulante do ponto de vista científico, colocando um vasto conjunto de problemas científicos aos investigadores da área mas, ao mesmo tempo, extremamente atraente para o público em geral e para os meios de comunicação social. Com esta vertente, pretende-se que o RoboCup seja capaz de chamar a atenção de todos, não só para o RoboCup como competição por si só, mas também para a investigação realizada em Inteligência Artificial e Robótica Inteligente pelos diversos laboratórios participantes.

O desafio colocado pelo RoboCup aos investigadores mundiais das áreas da IA e Robótica subdivide-se em 3 categorias principais, sendo que, o Futebol Robótico é claramente a categoria mais relevante [10]:

- *RoboCup Soccer* – Futebol Robótico, dividida em cinco ligas diferentes. A liga de simulação, a liga de robôs de tamanho pequeno, a liga de robôs de tamanho médio, a liga de plataforma normalizada e a liga de robôs humanóides - figura 27;
- *RoboCup Rescue* – Aplicação da investigação realizado no futebol robótico ao domínio da busca e salvamento em grandes catástrofes. Esta categoria divide-se numa modalidade de simulação e uma modalidade robótica;
- *RoboCup Júnior* – Utilização do RoboCup na educação. Crianças e jovens utilizam uma infra-estrutura simples, e criam equipas de robôs para jogar futebol (2 contra 2), dançar ou resgatar vítimas.



(a) Robôs com Pernas Sony [10]



(b) Robôs de tamanho médio [26]

**Figura 27:** RoboCup - Ligas de Robôs

Para além destas atividades e da organização anual do campeonato mundial de futebol robótico, a iniciativa RoboCup conta ainda com a realização de conferências especializadas, programas educacionais e desenvolvimento de diversas infra-estruturas.

A robótica Industrial é uma aplicação futura do RoboCup que assume grande importância. O envio de robôs autónomos e inteligentes para situações perigosas diminui o número de vidas humanas colocadas em risco. Tarefas complexas em que as tecnologias principais desenvolvidas no RoboCup podem ser aplicáveis, incluem a exploração de terreno, gestão de armas nucleares, exploração lunar, limpeza de lixo radioativo e a limpeza de minas.

Outra aplicação com extrema importância é o "RoboCup Rescue", que é um dos domínios mais promissores para aplicação das metodologias desenvolvidas no âmbito do RoboCup. Esta nova iniciativa da Federação RoboCup está preocupada com o planeamento e execução de operações de resgate e salvamento em desastres de larga escala tais como terremotos e incêndios [10].

## 7 Aplicações de Agentes e SMA na Engenharia Biomédica

A Engenharia Biomédica é uma especialidade que se tem vindo a impor nos países desenvolvidos tendo, no seu início, pretendido colmatar as dificuldades sentidas pelos profissionais clínicos associados aos avanços científico-tecnológicos de todos os equipamentos, materiais ou serviços de suporte à atividade médica. O foco principal encontra-se na aplicação de conhecimentos, princípios e metodologias de engenharia ao desenvolvimento novos produtos, equipamentos, materiais e serviços de suporte à atividade médica [27].

Sendo a Engenharia Biomédica um "suporte" à Saúde, é importante focar o uso da IA neste campo, pois auxilia, de forma rápida e inteligente, a tomada de decisões e ações pela gestão, fornece auxílio ao diagnóstico e garante a comunicação e coordenação, minimizando os erros de análise e tratamento.

A ideia de ter entidades autónomas inteligentes, pro-ativas e colaborativas a interagir num ambiente complexo e distribuído relaciona-se bem com a resolução de problemas na área médica. As principais categorias do uso dos SMA nesta área são [28]:

- **Telemedicina:** as aplicações nesta categoria são capazes de realizar a monitorização biomédica remota do paciente, bem como a comunicação em tempo real com um médico. Os sensores fixados no corpo do paciente facilitam a monitorização de várias propriedades biológicas. Essas propriedades podem ser disponibilizadas em tempo real para um médico capaz de se comunicar diretamente com o paciente. A comunicação pode ocorrer por meio de diferentes meios, como telefone, e-mail ou tecnologia de videoconferência.
- **Vida Diária e Monitorização:** as aplicações nesta categoria usam sensores implantáveis para monitorização discreta dos sinais vitais dos pacientes. Normalmente, esses sistemas são projetados para manter informações históricas, fornecer informações e relatar anormalidades. Casos médicos como diabetes, tumor, cancro ou deficiências físicas podem beneficiar de tal aplicação.
- **Deteção e Assistência:** as aplicações desta categoria são indiscutivelmente os mesmos que as mesmas aplicações da vida diária e de monitorização, com a funcionalidade adicional de fornecer assistência ao paciente, quando necessário. Por exemplo, uma aplicação para detetar e identificar quedas e prestar assistência pode ajudar a permitir que os idosos com dificuldade de locomoção tenham uma vida independente e, por sua vez, reduzir o custo geral para o sistema de saúde.

Atualmente, há muita pesquisa e interesse no campo de aplicações de MAS relacionadas com a saúde. Muitas destas aplicações estão relacionadas com: deteção de queda, análise de marcha, monitorização de frequência cardíaca usando eletrocardiograma (ECG), oximetria de pulso e deteção de episódios de Parkinson e sua gravidade.

Os 3 exemplos destacados abaixo são exemplos de projetos existentes, ou em desenvolvimento, na área da Saúde.

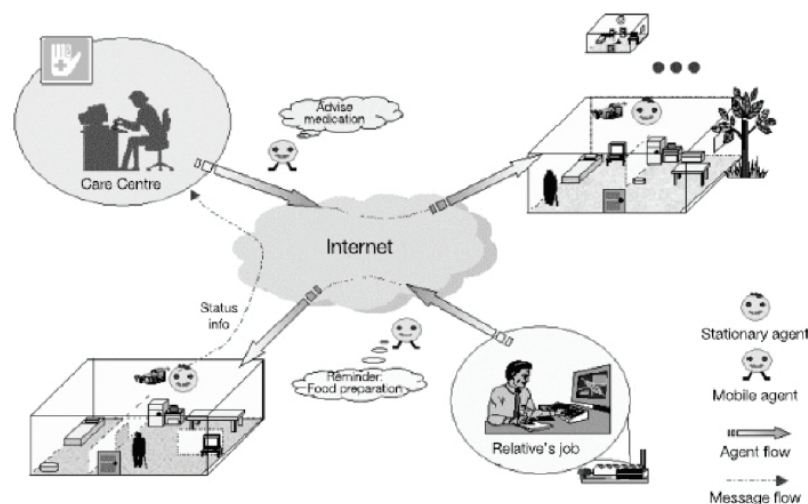
### 7.1 TeleCARE

O projeto TeleCARE visa a conceção e desenvolvimento de um framework focado em comunidades virtuais de apoio a idosos. Essas comunidades virtuais permitirão que os idosos fiquem em casa e mantenham, até certo ponto, o seu estilo de vida. A missão do TeleCARE é oferecer serviços de saúde comportamentais excelentes e eficazes que envolvam indivíduos com necessidades complexas na recuperação da sua saúde, esperanças e sonhos [29].

O sistema TeleCARE propôs o paradigma multiagente como base de infraestrutura em vez do TCP/IP pela Internet por dois motivos principais [28]:

- Mover o código para o local onde as ações são necessárias permite resposta em tempo real, autonomia e continuidade da prestação do serviço com dependência reduzida da disponibilidade da rede e atrasos;
- Como novos agentes móveis podem ser construídos e enviados para execução remota sempre que necessário, níveis mais altos de flexibilidade e escalabilidade são alcançados.

A figura 28 apresenta a arquitetura deste sistema.



**Figura 28:** Comunidades digitais interconectadas do Sistema TeleCARE [28]

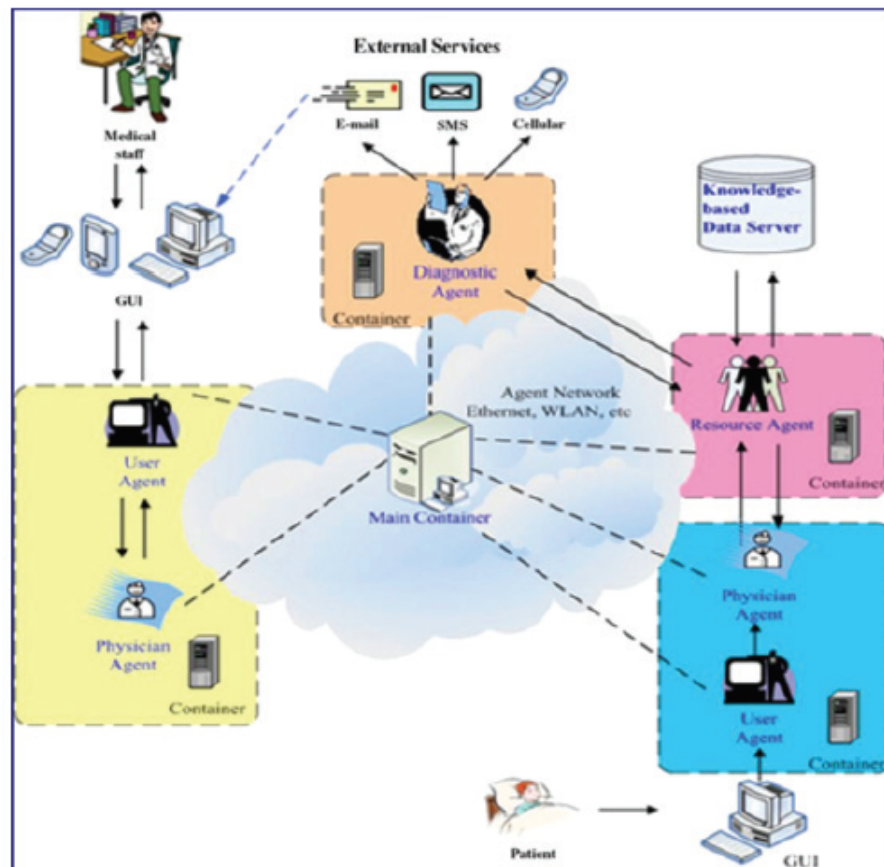


Este sistema fornece uma plataforma atraente e robusta para a criação de aplicações de saúde. Este sistema permitiria aos cidadãos idosos manter estilos de vida socialmente ativos e independentes, ao mesmo tempo em que mantinham uma rede de segurança de serviços de saúde quando necessário [28]. Com pesquisas contínuas sobre escalabilidade e desempenho no mundo real deste sistema, o TeleCARE pode-se tornar num aplicativo viável.

## 7.2 MADIP

A *Multi-Agent Distributed Information Platform* (MADIP) é capaz de notificar o prestador de cuidados responsável de anormalidade automaticamente, oferecer aconselhamento médico à distância, e realizar uma monitorização contínua da saúde para aqueles que dela necessitam.

A figura 29 apresenta a arquitetura de alto nível deste sistema.

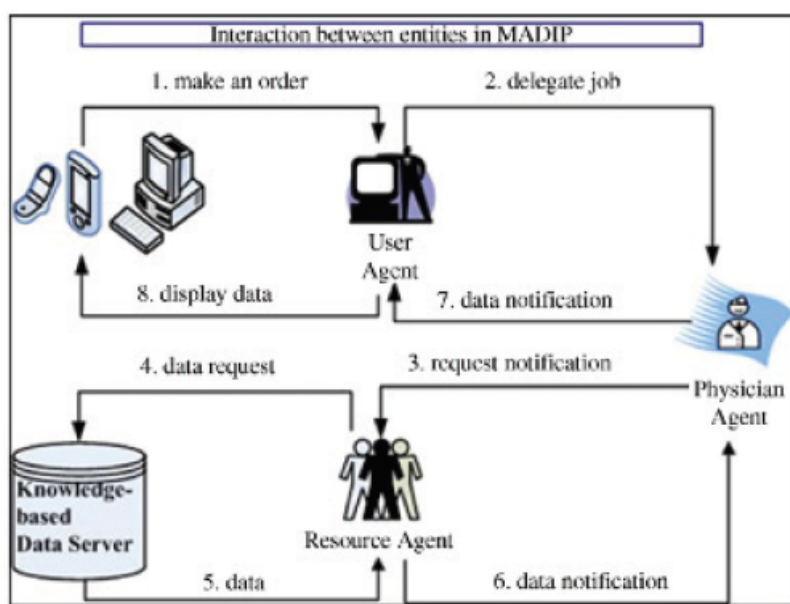


**Figura 29:** Arquitetura do sistema MADIP [28]

O MADIP é composto por seis tipos de componentes que mapeiam para o agente humano correspondente no cenário do mundo real: Agente do utilizador, Agente de recursos, Agente médico, Agente de diagnóstico, Servidor de dados baseado em conhecimento e Serviços externos.

Os agentes do utilizador atuam como uma interface de *gateway* inteligente para médicos e pacientes. Eles derivam e executam as ações do sistema necessárias com base nas solicitações do utilizador. O agente de recursos intermedeia o acesso dos agentes aos recursos dentro do sistema e, como tal, opera num nível mais alto de confiança. O agente Médico é um agente móvel usado pela equipa médica para realizar tarefas. Ser um agente móvel significa monitorizar um paciente de forma discreta, sem a presença do médico. O agente médico opera de forma assíncrona e independente do programa de envio, ou dito de outra forma, após despachar um agente, um médico pode realizar outro trabalho enquanto aguarda informações. O agente de diagnóstico (DA) é estacionário e pode ser considerado um mecanismo de análise de dados. A principal tarefa do DA é analisar os dados dos pacientes e indicar ou prever mudanças repentinas no estado destes. O servidor de dados baseado em conhecimento consiste em dois repositórios de informações: status e perfis do utilizador. Ambos os repositórios são usados para armazenar informações fisiológicas recolhidas por um agente médico. O primeiro contém informações relacionadas com o estado físico do paciente (ou seja, frequência cardíaca, valores de saturação de pulso de oxigénio, etc.) e o segundo contém registos eletrónicos atualizados dos pacientes. Quando o agente de recursos recebe os dados de monitorização do paciente, armazena os dados no repositório de status do utilizador e envia uma cópia ao agente de diagnóstico para análise [28].

A figura 30 demonstra um cenário de uso da perspectiva de um médico. Por último, o componente de serviços externos contém o hardware do ambiente e serviços como e-mail e contactos.



**Figura 30:** Interação entre entidades no MADIP [28]

Para enfrentar as questões de interoperabilidade, escalabilidade e abertura em ambientes heterogêneos de saúde eletrónica, foi adotada para a conceção e implementação do sistema MADIP, uma plataforma de desenvolvimento de agentes compatível com o padrão FIPA2000-JADE (*Java Agent Development Framework*) [30].

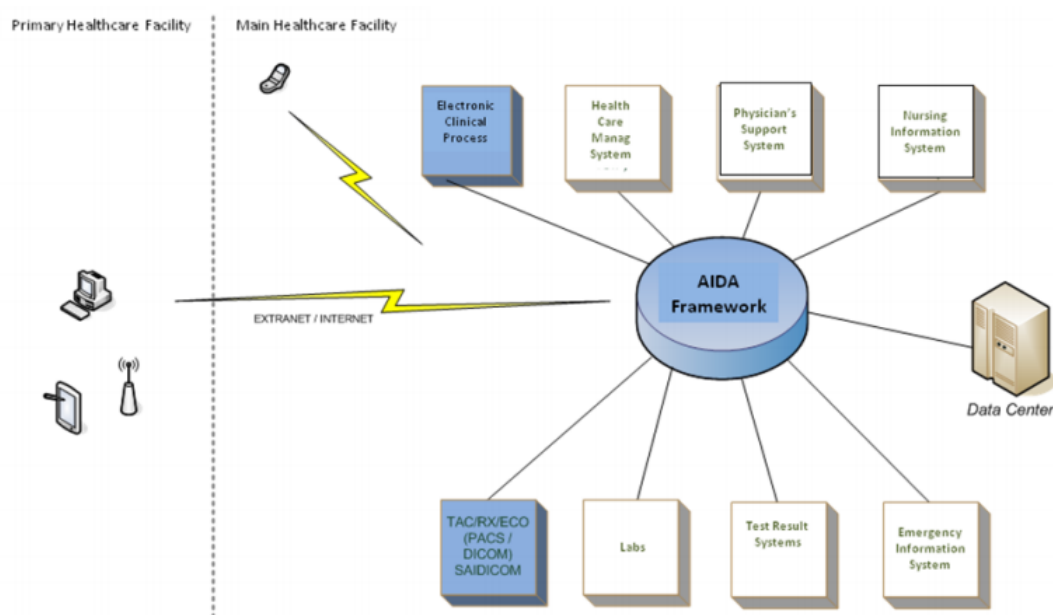
Em última análise, o objetivo desta aplicação é fornecer serviços de saúde em tempo real e monitorização para uma população. A adaptação deste sistema para fornecer serviços de saúde para os idosos permitiria que eles mantivessem estilos de vida independentes sem a preocupação de não conseguirem obter ajuda médica quando necessário. Além disto, este sistema reduz os tempos de espera e processamento para pacientes e médicos.

### 7.3 AIDA e BMaPI

Técnicas baseadas em Inteligência Artificial (IA) têm mostrado um grande potencial quando introduzidas no ambiente hospitalar. A maioria desses sistemas estão focados na área de integração de sistemas e sistemas de apoio à decisão. Então, a Agência para Integração, Difusão e Arquivo de Informação Médica (AIDA) é uma solução desenvolvida por um grupo de investigação de IA da Universidade do Minho e já implementado em várias organizações de saúde portuguesas, incluindo o Centro Hospitalar do Porto.

Esta plataforma tem demonstrado grande adaptabilidade, modularidade e eficácia na área da saúde. A AIDA - figura 31 - foi criada com a intenção de ajudar aplicações médicas e para gerenciar o fluxo de informações por meio do processamento sistemas com um nível de autonomia adaptável. O objetivo principal é tornar os sistemas de informação na saúde interoperáveis e fornecer táticas complementares de diagnóstico e terapêutica, através da difusão e integração da informação produzida numa organização de saúde. Os agentes são a unidade básica da AIDA e garantem a comunicação entre sistemas heterogêneos, envio, recebimento, gerenciamento e armazenamento de informações e responder às solicitações em tempo hábil e correto [31].

Os Sistemas de Informação Médica são vistos como uma forma de otimizar o uso das comunicações de saúde acessíveis sem recorrer a uma estrutura nova. A AIDA oferece, desta forma, ferramentas de serviço baseadas na web para interagir com agentes humanos.



**Figura 31:** AIDA [32]

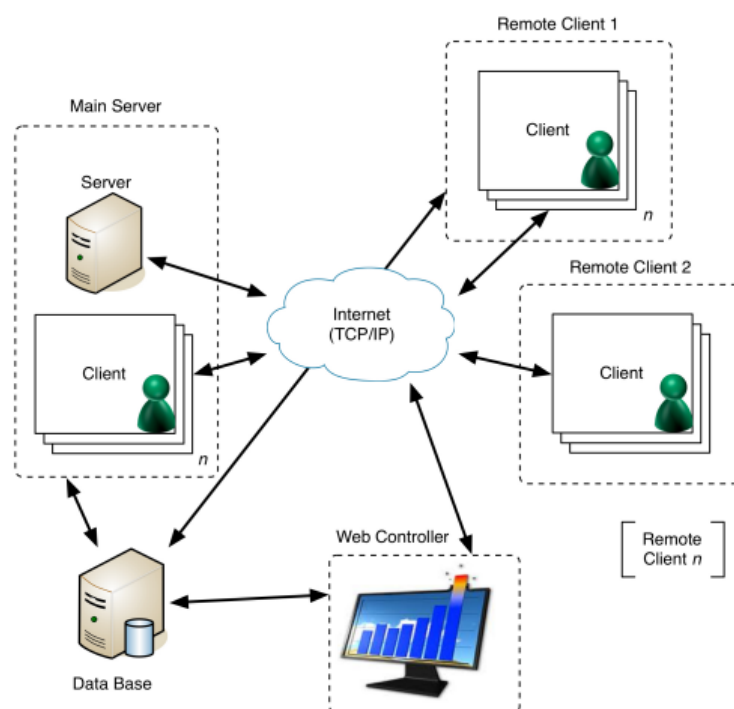
Sendo esta uma plataforma que potencia a interoperabilidade em unidades hospitalares, disponibiliza serviços e aplicações informáticas, entre as quais [33]:

- AIDA-SII: Sistema de Informação de Imagiologia
- AIDA-SIEM: Sistema de Informação de Exames Médicos
- AIDA-SIL: Sistema de Informação Laboratorial
- AIDA-HL7: Interoperação de Sistemas Hospitalares
- AIDA-PCE: Processo Clínico Electrónico

Desta forma, é possível concluir que a AIDA é capaz de saber o melhor período para aplicar operações como manutenção, atualizações ou outras alterações, minimizando distúrbios no fluxo de trabalho dos SMA.

De acordo com as necessidades descritas pelos administradores da plataforma AIDA, foi desenvolvido também o BMaPI (*Biomedical Multi-agent Platform for Interoperability*) que visa garantir um maior controlo sobre os agentes que constituem a AIDA, facilitar o trabalho do utilizador na criação e registo de novos agentes local ou remotamente, permitir a este habilitar e desabilitar serviços na unidade de saúde, por meio do lançamento ou paragem de determinado agente, facilitar o agendamento e reprogramação da atividade dos agentes e, por fim, monitorizar de forma dinâmica e em tempo real a atividade dos agentes [31].

A arquitetura deste sistema está representada na foto abaixo.



**Figura 32:** Arquitetura do BMaPI [31]

Os componentes BMaPI desenvolvidos com a programação orientada a agentes revelaram-se uma ferramenta poderosa para controlar minuciosamente esses agentes e evitar possíveis falhas e, consequentemente, melhorar a qualidade dos serviços prestados e a interoperabilidade entre os Sistemas de Informação na Saúde.

O setor da saúde enfrentará um aumento na procura por serviços nas próximas décadas, e consequentemente, o custo da prestação dos serviços nesta área aumentará. No entanto, a abordagem dos sistemas multiagente pode ser usada para modelar o domínio da saúde e fornecer uma nova plataforma para ajudar a atender à procura destes serviços. Especificamente, os projetos de sistemas multiagente, projetados para prolongar o estilo de vida independente dos idosos, ajudarão a reduzir o *stress* no sistema de saúde, bem como o custo de prestação destes serviços.

## 8 Agentes e Sistemas Multiagente no Futuro

Dados os complexos desafios tecnológicos combinados com as restrições sociais e éticas que estes sistemas têm, prever o futuro das aplicações de sistemas multiagente é um desafio. Novas técnicas serão apresentadas para melhorar a capacidade, eficiência e confiabilidade da próxima geração de sistemas na saúde humano-computador. A principal preocupação na aplicação de sistemas multiagente é convencer as pessoas dos benefícios do uso de agentes, por exemplo, fornecendo demonstradores em execução que mostram a maturidade, flexibilidade e robustez das soluções baseadas em agentes. Esta secção concentra-se em novas ideias que estão a ser exploradas [28].

### 8.1 Avanços em sensores implantáveis

Os biossensores implantáveis são uma classe importante de biossensores com base em sua capacidade de medir continuamente os níveis metabólicos, sem a necessidade de intervenção do paciente e independentemente do estado fisiológico do paciente (sono, repouso, etc.). Esses sensores são implantados no corpo humano e não requerem nenhuma interação adicional do usuário para operar. As principais razões pelas quais os sensores implantados são mais desejáveis do que seus equivalentes no corpo são que eles não limitam a mobilidade do paciente e causam menos infecções de pele. Por exemplo, tal sensor representaria uma solução altamente desejável para o gerenciamento de diabetes, onde os meios tradicionais de rastreamento de glicose envolvem picar um dedo para tirar sangue e testá-lo.

### 8.2 Integração de saúde em larga escala

Os avanços na tecnologia SMA na saúde levarão ao surgimento de sistemas de saúde integrados em larga escala, com a finalidade de fornecer serviços de saúde abrangentes e onnipresentes para qualquer pessoa em qualquer lugar.

### 8.3 Previsão/Prevenção de doenças

Dado que os sensores implantáveis de longa duração são viáveis e a infraestrutura para a comunicação é generalizada, uma próxima geração de aplicações de saúde pode ser realizada. Sensores capazes de análise genética podem ser usados para detecção e previsão de doenças e, além disto, dados genéticos ou outros dados biológicos de populações inteiras podem ser examinados para pesquisas médicas. Tal aplicação seria útil na luta contra o cancro e outras doenças genéticas [28].

## 9 Conclusão

A definição de Agente e Sistemas Multiagente está longe de ser consensual. Além disto, a distinção entre um agente e um objeto é também problemática. No entanto, um agente é desde logo um Paradigma Computacional enquanto que os objetos voltam-se para os Paradigmas da Programação. O dinamismo consoante o meio, a manipulação do conhecimento, os mecanismos de restrição de acesso ao mesmo e os conceitos de mensagem e linguagem são algumas das características diferenciadoras.

Por imposição do meio ou por facilidade de modelação, é útil combinar diferentes agentes que, de forma competitiva ou cooperativa, procuram atingir um dado objectivo. Surgem, assim, os Sistemas Multiagente como o paralelo digital dos mecanismos de natureza social para a resolução de problemas do ser humano. A existência de agentes altamente aptos para determinadas tarefas, mas isolados, poderá ser menos útil do que se poderá pensar. Daí a importância dos SMA nas diversas áreas.

As áreas de aplicação deste tipo de sistemas são variadas, como se viu ao longo do relatório, e vão desde o comércio electrónico até sistemas de controlo de tráfego aéreo, entre outras. Um tema de particular importância, quando se lida com agregados de agentes prende-se com a capacidade de comunicação entre as partes. A utilização de um mecanismo linguístico inteligível entre todos os intervenientes é essencial para que os processos cooperativos/concorrenciais se desenvolvam. Para tal, surgem linguagens como a KQML ou a FIPA-ACL, ambas explicitadas anteriormente.

Por fim, e não menos importante, o uso destes sistemas na área da Saúde é fundamental. De aplicações de apoio a idosos, à criação de aplicações que proporcionam mais facilmente a interoperabilidade entre os diversos sistemas, são várias as vantagens do uso dos Agentes na Engenharia Biomédica.

## Referências

- [1] Jorge Muniz Barreto. "Inteligência Artificial Distribuída (IAD)" Accessed apr. 3, 2021. [Online]. Available: <http://www.inf.ufsc.br/~j.barreto/Projetos/Analucia/IAD.htm>
- [2] "Inteligência," *Wikipedia*. Accessed Apr. 03, 2021. [Online]. Available: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Intelig%C3%Aancia>
- [3] Paulo Novais, César Analide, "Agentes inteligentes," Texto Pedagógico, Grupo de Inteligência Artificial, Universidade do Minho, Braga, Sept. 2006.
- [4] Melissa Cruz Cossetti. "O que é inteligência artificial?" Accessed apr. 3, 2021. [Online]. Available: <https://tecnoblog.net/263808/o-que-e-inteligencia-artificial/>
- [5] "Tópicos em Inteligência Artificial," Professor Ricardo Kerschbaumer. [Online]. Available: <https://professor.luzerna.ifc.edu.br/ricardo-kerschbaumer/wp-content/uploads/sites/43/2018/02/1-Introdu%C3%A7%C3%A3o.pdf>
- [6] "Inteligência Artificial," *Wikipedia*. Accessed Apr. 03, 2021. [Online]. Available: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Intelig%C3%Aancia\\_artificial](https://pt.wikipedia.org/wiki/Intelig%C3%Aancia_artificial)
- [7] Paulo Novais, Pedro Miguel Freitas, "Inteligência Artificial e Regulação de algoritmos," 2018. [Online]. Available: [http://www.sectordialogues.org/documentos/proyectos/adjuntos/49f7d3\\_Intelig%C3%Aancia%20Artificial%20e%20Regula%C3%A7%C3%A3o%20de%20Algoritmos.pdf](http://www.sectordialogues.org/documentos/proyectos/adjuntos/49f7d3_Intelig%C3%Aancia%20Artificial%20e%20Regula%C3%A7%C3%A3o%20de%20Algoritmos.pdf)
- [8] Jorge Muniz Barreto. "O que é a Inteligência" Accessed apr. 3, 2021. [Online]. Available: <http://www.inf.ufsc.br/~j.barreto/IA/conceitos.htm>
- [9] Paulo Novais, Filipe Gonçalves, "Agentes inteligentes," Apresentação PowerPoint, 2020/2021.
- [10] L. P. Reis, "Coordenação em sistemas multi-agente: Aplicações na gestão universitária e futebol robótico," Ph.D. dissertation, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2003.
- [11] Daniela Maria Uez, "Agentes e sistemas multiagentes," Apresentação PowerPoint, 2014.
- [12] M. Wooldridge, "An introduction to multiagent systems," Department of Computer Science, University of Liverpool, UK. [Online]. Available: <http://dl.icdst.org/pdfs/files/417f5e65f9fbd30413f6b983df8f4175.pdf>



- 
- [13] F. G. de Carvalho, "Comportamento em grupo de personagens do tipo blackwhite," Master's thesis, Programa de Pós-Graduação em Informática da PUC-Rio., Rio de Janeiro, Brasil, 2004. [Online]. Available: [http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0210488\\_04\\_cap\\_02.pdf](http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0210488_04_cap_02.pdf)
- [14] Paulo Novais, Filipe Gonçalves, "Sistemas multiagente," Apresentação PowerPoint, 2020/2021.
- [15] W3Schools. "XML Tutorial," apr. 6, 2021. [Online]. Available: <https://www.w3schools.com/xml/default.ASP>
- [16] Rafael Nascimento. "Introdução aos Sistemas Multiagentes," apr. 6, 2021. [Online]. Available: <https://www.devmedia.com.br/introducao-aos-sistemas-multiagentes/28973>
- [17] Luís Paulo Reis. "Introdução aos Sistemas Multi-Agente," apr. 6, 2021. [Online]. Available: [https://paginas.fe.up.pt/~lpreis/ai2002/Documents/2.Introducao\\_SMA.PDF](https://paginas.fe.up.pt/~lpreis/ai2002/Documents/2.Introducao_SMA.PDF)
- [18] "JAVA Agent DEvelopment Framework is an open source platform for peer-to-peer agent based applications," apr. 4, 2021. [Online]. Available: <https://jade.tilab.com/>
- [19] André Campos. "Plataformas Multi-Agente," apr. 6, 2021. [Online]. Available: <https://slideplayer.com.br/slide/355198/>
- [20] Paulo Novais, Filipe Gonçalves, "Normas fipa: Foundation for intelligent physical agents," Apresentação PowerPoint, 2020/2021.
- [21] Henri Raposo. "Plataformas de Construção de Agentes," apr. 6, 2021. [Online]. Available: <https://slideplayer..br/slide/330844/>
- [22] J.M. Corera; I. Laresgoiti; N.R. Jennings, "Using Archon - 2. Electricity transportation management," 1996. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/546586>
- [23] M. Oprea, "Applications of Multi-agente System," 2004. [Online]. [Online]. Available: [https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F1-4020-8159-6\\_9.pdf](https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F1-4020-8159-6_9.pdf)
- [24] N. R. Jennings; Peyman Faratin; Timothy J Norman; P. O'Brien; M. E. Weigand; C. Voudouris; James Alty; T. Miah; E. H. Mamdani, "ADEPT: Managing Business Processes Using Intelligent Agents," 2000. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/37531336\\_ADEPT\\_Managing\\_Business\\_Processes\\_Using\\_Intelligent\\_Agents](https://www.researchgate.net/publication/37531336_ADEPT_Managing_Business_Processes_Using_Intelligent_Agents)
-

- 
- [25] Hans-Jürgen Bürckert; Klaus Fischer, “TeleTruck: A Holonic Fleet Management System,” 1998. [Online]. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/2702436\\_TeleTruck\\_A\\_Holonic\\_Fleet\\_Management\\_System](https://www.researchgate.net/publication/2702436_TeleTruck_A_Holonic_Fleet_Management_System)
- [26] RoboCup Federation. "Welcome to RoboCup," apr. 8, 2017. [Online]. Available: <https://www.robocup.org/>
- [27] Universidade do Minho. "Engenharia Biomédica (Mestrado Integrado)," apr. 9, 2021. [Online]. Available: [https://www.uminho.pt/pt/ensino/oferta-educativa/\\_layouts/15/uminho.portalum.ui/pages/catalogocursodetail.aspx?itemid=2811&catid=8](https://www.uminho.pt/pt/ensino/oferta-educativa/_layouts/15/uminho.portalum.ui/pages/catalogocursodetail.aspx?itemid=2811&catid=8)
- [28] Elhadi Shakshuki; Malcolm Reid, “Multi-Agent System Applications in Healthcare: Current Technology and Future Roadmap,” 2015. [Online]. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050915008716?via%3Dihub>
- [29] Telecare Corporation. "Respect. Recovery. Results.," apr. 8, 2021. [Online]. Available: <https://www.telecarecorp.com/>
- [30] Chuan-Jun Su, Chia-Ying Wu, “JADE implemented mobile multi-agent based, distributed information platform for pervasive health care monitoring,” 2011. [Online]. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S156849460900235X?via%3Dihub>
- [31] Luciana Cardoso, Fernando Marins, Filipe Portela, Manuel Santos, António Abelha, José Machado, “A Multi-Agent Platform for Hospital Interoperability,” 2014. [Online]. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/1822/31210>
- [32] Hugo Daniel Abreu Peixoto, “Steps towards Interoperability in Healthcare Environment,” Ph.D. dissertation, Faculdade de Engenharia da Universidade do Minho, Portugal, 2012.
- [33] José Machado. "AIDA- Intelligence in Healthcare," apr. 9, 2021. [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/aidasuite/homehttpssitesgooglecomsitepromodelsagenciamodelos>