

Proposta de uma Nova Classificação para a Área de Inteligência Artificial Distribuída: Focos de Interesse e Sistemas Computacionais

Maria Bruno Marietto^{1,†} Nuno David^{1,2,‡}, Jaime Simão Sichman^{1,*}, Helder Coelho³

¹Laboratório de Técnicas Inteligentes, Universidade de São Paulo, Brasil
gracas.marietto@poli.usp.br <http://www.lti.pcs.usp.br/~graca>
jaime.sichman@poli.usp.br <http://www.pcs.usp.br/~jaime>

²Departamento de Ciências e Tecnologias da Informação, ISCTE/DCTI, Lisboa, Portugal
Nuno.David@iscte.pt <http://www.iscte.pt/~nmcd>

³Departamento de Informática, Universidade de Lisboa, Portugal
hcoelho@di.fc.ul.pt <http://www.di.fc.ul.pt/~hcoelho>

Abstract. In this paper we present a proposal for a new classification of sub-fields in the broad area of Distributed Artificial Intelligence (DAI). The classification gives a more realistic vision of present research and development activities in DAI. Namely, it emphasises the growing of the Multiagent Simulation sub-field, an interdisciplinary discipline working in the intersection of social and natural sciences, computer simulation and agent-based computing. Additionally, we present a classification of computational systems in DAI, and discuss which computational systems should be used for each sub-field.

Keywords. Distributed Artificial Intelligence, classification, simulation.

1 Introdução

Desde sua estruturação na década de 70, através de conceitos como *blackboards* [11] e *ACTORS* [14], a área de Inteligência Artificial Distribuída (IAD) evoluiu de forma significativa em termos de teorias, metodologias e técnicas. Entretanto, ainda hoje está genericamente dividida em duas classes: Resolução Distribuída de Problemas (RDP) e Sistemas Multiagentes (SMA) (vide [8]). Esta subdivisão não mais retrata a atual diversidade de trabalhos de pesquisa e desenvolvimento em IAD, podendo hoje encontrar-se outras sub-áreas razoavelmente estruturadas e solidificadas, como por exemplo a Simulação Baseada em Multiagentes.

No entanto, a estrutura resultante da formação de novos grupos de interesse ainda está difusa e pouco coesa, não havendo discussões para definir conjuntamente uma classificação que retrate de forma mais precisa o atual estágio de pesquisa e desenvolvimento da área. Com o fim de contribuir para a elaboração deste quadro geral, apre-

[†] Apoiada pela FAPESP, Brasil, Bolsa 00/14689-0. Em licença da Universidade Católica Dom Bosco, Brasil.

[‡] Parcialmente apoiado pela FCT, Programa PRAXIS XXI, Portugal, Bolsa BD/21595/99.

[¥] Parcialmente apoiado pelo CNPq, Brasil, Bolsa 301041/95-4.

sentamos neste trabalho uma proposta para uma nova classificação para a área de IAD. Esta classificação será apresentada na Seção 2. Cada uma das classes identificadas possui demandas próprias associadas a diferentes sistemas computacionais. Com o objetivo de identificar os sistemas computacionais adequados para cada sub-área, apresentamos na Seção 3 uma classificação de sistemas computacionais em IAD. Com base na classificação dos sistemas computacionais, discutiremos quais sistemas melhor atendem a cada classe da IAD. Por último, na Seção 4, apresentamos as conclusões deste trabalho.

2 Nova Classificação da IAD: Um Debate a ser Considerado

A área de Inteligência Artificial Distribuída está atualmente classificada em duas classes: Resolução Distribuída de Problemas (RDP) e Sistemas Multiagentes (SMA) (vide [8]). Entretanto, este nível de classificação não mais retrata as atuais atividades de pesquisa e desenvolvimento da área. Tal limitação é consequência direta do fortalecimento de estudos que utilizam formalismos de SMA nos processos de modelagem e implementação de simulações (vide [3]). A Figura 1 ilustra a proposta para uma nova classificação na área de IAD, representando de forma mais precisa a sua atual divisão. Nas próximas subseções descreveremos cada uma das classes propostas, que julgamos melhor retratar a atual estrutura da IAD.

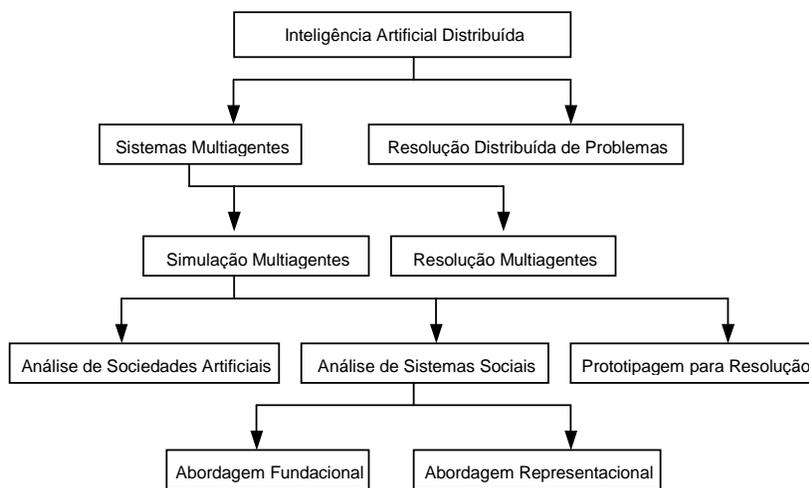


Figura 1: Nova Classificação para a Área de IAD

2.1 Resolução Distribuída de Problemas

Esta classe mantém as características da divisão tradicional da IAD, considerando que a RDP tem como base o problema que é modelado através de uma abordagem descendente (*top-down*). A solução do problema é previamente estruturada, e os agentes são desenvolvidos para atuarem conforme o esquema proposto para a solução. Isto significa dizer que grande parte do raciocínio sobre a solução é inserido no sistema pelo projetista, levando ao desenvolvimento de controles geralmente hierárquicos e centralizados.

2.2 Sistemas Multiagentes

Em um SMA o foco está na estruturação dos agentes e não na estruturação do problema. A preocupação do projetista é desenvolver arquiteturas de agentes que interajam de forma autônoma e social, bem como desenvolver sistemas de comunicação e coordenação para que a solução surja através desta interação. Por esta razão, o problema em SMA é considerado através de uma abordagem ascendente (*bottom-up*) de desenvolvimento.

Na classificação que propomos neste trabalho, a abordagem ascendente é mantida. Adicionalmente, os SMAs serão subdivididos em duas classes. Na primeira classe, denominada Simulação Multiagentes, a infraestrutura de SMA é utilizada para simular qualquer fenômeno em um computador. A segunda, denominada Resolução Multiagentes, engloba atividades relacionadas com a construção de SMAs.

2.2.1 Simulação Multiagentes

A classe Simulação Multiagentes (SM) é formada pela intersecção das áreas de IAD e Simulação Computacional, equivalendo à área denominada em [3] por Simulação Baseada em Multiagentes. O principal objetivo dos pesquisadores desta classe é o estudo da simulação e do modelo simulado, utilizando como ferramental a estrutura técnico-teórica da IAD.

2.2.1.1 Conceitos Fundamentais de Simulação Multiagentes

Um modelo de simulação é um tipo particular de modelo, que procura representar um determinado sistema alvo. Este modelo difere dos demais na medida em que permite (i) estudar como o sistema modelado se comporta sob determinadas condições, e (ii) examinar as conseqüências de alterações internas no comportamento geral do sistema (vide [12]).

De forma mais específica, em [10] define-se que o modelo de simulação multiagentes está baseado na idéia do relacionamento de um indivíduo com um programa, sendo possível simular um mundo artificial formado por entidades computacionais interativas. A simulação ocorre quando há a transposição da população de um *sistema alvo* para um *modelo conceitual* equivalente, seguido da codificação deste modelo para um *modelo computacional*. Neste caso, um agente equivale a uma entidade do sistema alvo, ou um grupo delas.

Em sistemas de simulação um ponto fundamental a ser considerado é a garantia de que o modelo computacional represente de forma o mais fidedigna possível o sistema alvo. Para tanto, dois processos são considerados: verificação e validação. A Figura 2 apresenta o fluxo de modelagem, verificação e validação de uma simulação.

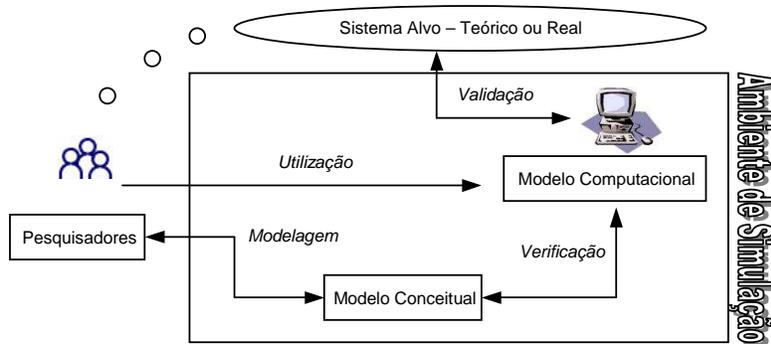


Figura 2: Fluxo Operacional de uma Simulação

O processo de verificação objetiva assegurar que o modelo conceitual é transcrito corretamente para o ambiente computacional. O processo da validação visa assegurar que o modelo computacional represente o sistema alvo com um aceitável grau de aderência (vide [5, 12]). Para a classe Simulação Multiagentes, na validação procura-se analisar se os agentes de *software* são de fato representantes de atores específicos, e se o comportamento destes agentes em uma sociedade corresponde ao comportamento do sistema alvo que está sendo simulado (vide [5]).

2.2.1.2 Subáreas da Simulação Multiagentes

Três classes podem ser divisadas em SM: *Análise de Sociedades Artificiais*, *Análise de Sistemas Sociais* e *Prototipagem para Resolução*. Embora estas classes sejam interdependentes, existem dois aspectos que as diferenciam: o tipo de sistema alvo e o nível de abstração de representação deste sistema.

Análise de Sociedades Artificiais: Os sistemas alvo da classe Análise de Sociedades Artificiais não se restringem a modelos reais de sociedades e de ambientes físicos, sendo permitido ao pesquisador abstrair *a priori* quaisquer relações físicas, sociais, psicológicas e econômicas usualmente conhecidas e adotadas (vide [9,12]). Entretanto, esta abstração deve estar condicionada a teorias e hipóteses que direcionem a construção do modelo conceitual da simulação. Isto porque, conforme destacado em [13], sociedades artificiais são modeladas e implementadas com o fim de responder a questões específicas, bem como explorar fenômenos particulares.

As sociedades artificiais não modelam somente sociedades humanas, abrangendo quaisquer sociedades de agentes. Quando sociedades artificiais modelam sociedades humanas, consideram cenários não diretamente observáveis. Nesta perspectiva aberta de teorizar e hipotetizar sociedades, uma crítica freqüente refere-se à idealização de modelos alvo tão distantes da realidade cujos resultados da simulação não levam a

aprendizados sobre o mundo real (vide [15]). Nestes casos, a questão do estabelecimento de fronteiras entre o real e o imaginário poderá naturalmente ser levantada, não sendo matéria de describilização da área mas antes de enriquecimento. Vale ressaltar que estas questões não são novas, já sendo discutidas há muito tempo em Ciências Naturais e Sociais tais como Biologia, Sociologia e Economia. O potencial de fertilização cruzada e interdisciplinaridade entre SM, Ciências Sociais e Naturais leva à estruturação da classe Análise de Sistemas Sociais, descrita a seguir.

Análise de Sistemas Sociais: A classe Análise de Sistemas Sociais define-se quando simulações multiagentes utilizam o arcabouço das Ciências Sociais e/ou Naturais para modelar fenômenos sociais em geral. Os sistemas alvo correspondem a sistemas sociais existentes, ou para os quais haja provas de sua existência.

Quando se fala em simulações de sistemas sociais, costuma-se distinguir esta classe na comunidade científica por Simulação Social Baseada em Agentes (SSBA) [18]. No entanto, muitas características de sistemas sociais são também encontradas em sistemas naturais, não sendo sequer claro quais os seus limites. Com efeito, existe uma grande fertilização cruzada entre estas Ciências, bem retratada pela influência de algoritmos genéticos e redes neurais em estudos de adaptação a ambientes específicos, bem como a teoria da evolução na modelagem de sistemas econômicos (vide [15]). Desta forma, na classificação proposta neste trabalho consideramos que a classe de Análise de Sistemas Sociais engloba a atual área de SSBA, incluindo modelagens de simulações baseadas em teorias de organização social advindas das Ciências Naturais.

A abstração das simulações desta classe segue duas direções apresentadas em [18]. Na primeira direção, as simulações estão voltadas para uma visão mais formal e abstrata, procurando construir e representar fundamentos da teoria social. Esta abordagem é denominada fundacional. A segunda direção, denominada representacional, está voltada para uma visão mais pragmática de experimentação, enfatizando a análise e representação de observações diretas de processos sociais.

Os problemas tratados pela abordagem fundacional correspondem à descoberta, formalização e teste de teorias, modelos e hipóteses relacionados com aspectos teórico-estruturais de sistemas sociais. Assim, o objeto de estudo corresponde à lógica estrutural do sistema alvo, analisando questões como o estabelecimento de normas sociais e coalizões (vide [2,4]). Nesta abordagem os pesquisadores podem atuar em duas dimensões: (i) propor novas estruturas ou alternativas para sistemas sociais, verificando a viabilidade de sua existência e funcionamento; (ii) obter um melhor entendimento dos fundamentos sociais, antropológicos, psicológicos, etc., que subsidiam e direcionam sistemas sociais.

Por sua vez, a abordagem representacional não aborda a construção de estruturas teóricas de sistemas sociais. Utiliza antes modelos teóricos já existentes para modelar processos sociais e institucionais. Esta abordagem procura obter um melhor entendimento de fenômenos sociais atuais, ou para os quais haja evidências de sua existência. Dentre estes fenômenos sociais tem-se o desenvolvimento de características culturais e efeitos de mudanças em estruturas organizacionais.

Prototipagem para Resolução: Aqui, os sistemas alvo são sistemas reais cujos agentes interagem também com ambientes reais, tais como construções inteligentes e fenômenos naturais (e.g.[7, 19]). Mesmo havendo testes de hipóteses e teorias, bem como alcançando um melhor entendimento dos sistemas alvo, os objetivos principais

destas simulações são eminentemente práticos, a saber [6]: (i) avaliação dos sistemas modelados para posterior aplicação real (e.g.[7,20]); (ii) treinamento de futuros usuários do sistema; (iii) suporte à tomada de decisão, enfatizando a predição de comportamentos e de ações futuras, (e.g. [19]).

2.2.2 Resolução Multiagentes

A classe Resolução Multiagentes está voltada para a construção de aplicações baseadas em formalismos de SMA, bem como para o estudo da infra-estrutura teórica-operacional destes sistemas. Desta forma mantém o objetivo inicial da IAD que, segundo [1], era analisar os aspectos sociais de sistemas computacionais, apresentando novas e mais abrangentes formas para a resolução de problemas, planejamento e representação do conhecimento.

3 Classificação de Sistemas Computacionais *versus* Áreas da IAD

Sistemas computacionais que auxiliam o desenvolvimento e execução de aplicações em IAD são importantes para solidificar a área, pois liberam os pesquisadores de questões de implementação, permitindo o enfoque na definição lógica das aplicações. Analisando os sistemas atuais na área de IAD, pode-se perceber uma gama de tecnologias, mas dentre esta diversidade há padrões de serviços que caracterizam os sistemas e dão indicações para uma classificação. Estes serviços serão chamados de *facilidades*. Como parte das atividades do projeto SimCog [22], em [16] cinco facilidades foram identificadas para compor tais sistemas: *tecnológicas*, de *domínio*, de *desenvolvimento*, de *análise* e de *exploração*. Na Subseção 3.1 estas facilidades serão descritas e, tendo como base suas funcionalidades, proporemos uma classificação para sistemas computacionais na área de IAD. Na Subseção 3.2 apresentaremos a classe de sistema computacional mais adequada para tratar dos problemas relacionados com cada classe da IAD.

3.1 Classificação de Sistemas Computacionais

Facilidades tecnológicas englobam serviços que (i) intermediam as ações técnico-operacionais dos sistemas computacionais com o sistema operacional e os serviços da rede, e/ou (ii) oferecem serviços para dar suporte a simulações controladas. Como exemplo de serviços oferecidos cita-se mecanismos de conexão entre agentes (*brokers*, *matchmakers*, etc) e técnicas de escalonamento.

Facilidades de domínio estão relacionadas com a modelagem e implementação do domínio abordado. O domínio de uma aplicação multiagentes é composto por uma coleção de objetos e agentes, bem como por uma base de conhecimento de como estes

objetos e agentes interagem entre si. Dentre os serviços considerados cita-se a integração entre ambientes de simulação controlados¹ e não controlados.

Facilidades de desenvolvimento incluem mecanismos e ferramentas para a construção de SMA com uma abordagem centrada em agentes, ou uma abordagem centrada em organizações. Alguns dos serviços a serem considerados são a disponibilização de (i) modelos de arquitetura de agentes, e (ii) componentes que estruturam explicitamente uma organização, como por exemplo papéis e grupos.

Facilidades de análise levam em consideração que o processo de validação tradicional se baseia na análise de dados obtidos através da execução da simulação, e no conhecimento e experiência de especialistas no domínio da aplicação. Os serviços disponibilizados pelas facilidades de análise devem dar suporte a este tipo de validação, auxiliando o pesquisador a entender o comportamento da simulação. Dentre os serviços citam-se mecanismos para operacionalizar a observação de eventos comportamentais dos agentes, i.e., eventos observáveis externamente.

Facilidades de exploração dão suporte à exploração de diferentes resultados e conceitos qualitativos emergentes. Dentre os serviços a serem disponibilizados citam-se (i) intervenção em eventos comportamentais, através da supressão, modificação ou criação de tais eventos, (ii) intervenção em mecanismos internos dos agentes.

Tendo como base as facilidades anteriormente descritas, os sistemas computacionais da área de IAD podem ser classificados em quatro categorias: *mecanismos de suporte*, *sistemas de construção*, *plataformas de simulação* e *plataformas de simulação exploratória*.

Os *mecanismos de suporte* modelam pelo menos um dos serviços oferecidos nas facilidades tecnológicas, de domínio ou de desenvolvimento. Como exemplo tem-se a linguagem KQML, que dá suporte ao gerenciamento de métodos de comunicação. No entanto, os mecanismos de suporte não permitem por si só implementar uma aplicação multiagentes. Surgem então os *sistemas de construção*, que oferecem num ambiente integrado facilidades tecnológicas, de domínio e desenvolvimento. Tais sistemas dão suporte à criação e execução de SMAs através de serviços relacionados com redes e sistemas distribuídos, providenciando infraestruturas de comunicação e gerenciamento de agentes. Como exemplo pode dar-se o sistema SACI [21].

O próximo passo no avanço de sistemas computacionais em IAD foi não somente construir SMAs, mas utilizá-los na obtenção de um melhor entendimento dos sistemas alvo. Surgiram então as *plataformas de simulação*, que permitem a construção de SMAs para serem executados sob o paradigma da simulação computacional, garantindo desta forma o controle e a repetibilidade da execução das simulações. Tais plataformas apresentam serviços relacionados com facilidades tecnológicas, de domínio, de desenvolvimento e de avaliação. Como exemplo pode dar-se a plataforma Swarm [17].

Em [16] mostramos que nenhum sistema computacional atual trabalha com funcionalidades de exploração, pelo menos de uma forma satisfatoriamente formalizada e

¹ Ambientes de simulação controlados são aqueles aonde todo o evento da simulação é executado sob o controle do simulador. Por sua vez, ambientes não controlados permitem que ações sejam realizadas em ambientes reais, e por isto mesmo não controlados.

estruturada. Como a *raison d'être* da área de Simulação Multiagentes é justamente a análise de diferentes resultados e conceitos qualitativos, a próxima geração de plataformas de simulação, denominadas *plataformas de simulação exploratória*, devem apresentar serviços relacionados com facilidades tecnológicas, de domínio, de desenvolvimento, de avaliação e de exploração.

3.2 Áreas da IAD e Sistemas Computacionais

A grande quantidade e heterogeneidade de mecanismos de suporte, sistemas de construção e plataformas de simulação atualmente disponíveis é um fator positivo para o desenvolvimento da IAD, pois oferece aos pesquisadores ferramentas adequadas para uma ampla gama de teorias, metodologias e técnicas. Entretanto, esta mesma heterogeneidade e elevada oferta são fatores que dificultam o processo de escolha, podendo levar por vezes à adoção de ferramentas não apropriadas às necessidades de uma atividade de pesquisa ou desenvolvimento.

Com o objetivo de auxiliar nesta tomada de decisão, apresentamos nesta seção as classes de sistema computacionais mais indicadas para atender às necessidades teórico-técnicas de cada classe da IAD. Os mecanismos de suporte não serão considerados, pois tais sistemas não oferecem por si só uma infra-estrutura necessária ao desenvolvimento de um SMA.

3.2.1 Resolução Distribuída de Problemas

Em RDP o objetivo principal é a construção de agências para resolver um determinado problema, sendo que a modelagem do problema e sua posterior execução é o principal objetivo do desenvolvedor. Desta forma, os sistemas computacionais mais indicados para implementar RDPs são os sistemas de construção.

3.2.2 Sistemas Multiagentes

Como visto na Subseção 2.2, a classe Sistemas Multiagentes é composta pelas classes Simulação Multiagentes e Resolução Multiagentes. Nas próximas subseções a análise da adequação dos sistemas computacionais é feita para cada uma destas classes.

3.2.2.1 Simulação Multiagentes

As plataformas de simulação são utilizadas na classe Simulação Multiagentes com o objetivo de disponibilizar serviços relacionados com a execução de simulações, bem como analisar o comportamento do sistema e dos seus resultados. A estrutura de serviços a ser disponibilizada é tão ampla quanto a gama de possíveis sociedades a serem construídas. Assim, o escopo das funcionalidades de uma plataforma é abrangente, variando desde simples agentes reativos modelados com regras situadas, até sociedades de agentes intencionais com um complexo grau de raciocínio e de capacidade de interação.

Análise de Sociedades Artificiais: Devido à abrangência das sociedades artificiais, as plataformas de simulação devem ser o mais genéricas possível sendo, preferencialmente, independentes de domínio. As facilidades de avaliação desempenham um pa-

pel fundamental nos processos de validação e verificação. Entretanto, suas funcionalidades são limitadas para avaliar se o objetivo principal desta classe² foi alcançado, ou não. Por esta razão o desenvolvimento e uso de *plataformas de simulação exploratória* será a tendência prevalecte na classe Análise de Sociedades Artificiais, considerando que estas plataformas deverão disponibilizar recursos para auxiliam a análise de fenômenos emergentes.

Análise de Sistemas Sociais: A classe Análise de Sistemas Sociais herda as demandas computacionais da classe Análise de Sociedades Artificiais, pois sua abordagem fundacional partilha o objetivo de criar e testar teorias e hipóteses. No entanto, apresenta também demandas específicas em decorrência de sua abordagem representacional, que, por definição, tem objetivos mais pragmáticos. Por exemplo, na Análise de Sociedades Artificiais as questões operacionais relacionadas com segurança não são geralmente relevantes, pois grande parte das simulações não será executada em ambientes reais. Entretanto este serviço poderá ser necessário na classe Análise de Sistemas Sociais. Por exemplo, na abordagem representacional poderá desenvolver-se uma simulação de Comércio Eletrônico cujo ambiente pode exigir garantias de segurança em processos de compra e venda, caso o ambiente envolva agentes executados de forma distribuída.

Prototipagem para Resolução: Nesta classe a utilização de plataformas de simulação deve ser norteada pelo objetivo da atividade da prototipagem em si, relativa ao desenvolvimento de simulações que serão usadas ou mesmo migradas para situações reais. Neste contexto a variedade de ambientes e a característica dinâmica dos mesmos exigem funcionalidades como arquitetura *flat* dos agentes, serviços relacionados com segurança, e integração entre ambientes controlados e não controlados.

3.2.2.2 *Resolução Multiagentes*

Neste caso, os sistemas de construção serão os mais adequados para modelar e implementar SMAs, considerando que, por definição, são construídos com essa mesma finalidade (veja Subseção 3.1).

4 Conclusões

Neste trabalho a divisão clássica da IAD foi revista, por não mais corresponder às atuais atividades de pesquisa e desenvolvimento da área. Como resultado desta revisão, foi apresentada a proposta de uma nova classificação. A partir desta classificação, pôde perceber-se o fortalecimento de atividades associadas à classe Simulação Multiagentes, cujo caráter eminentemente interdisciplinar propicia uma importante fertilização cruzada entre Ciências Computacionais, Sociais e Naturais. Adicionalmente, foi proposta uma classificação para sistemas computacionais na área de IAD, contrastando os serviços oferecidos por tais sistemas com as necessidades específicas de cada classe identificada na área.

² O objetivo principal do desenvolvimento de sociedades artificiais é a construção e teste de teorias e hipóteses.

Referências Bibliográficas

- [1] Bond A.H. e Gasser L. An Analysis of Problem and Research in DAI, In A. H. Bond and L. Gasser, *Readings in Distributed Artificial Intelligence*, San Mateo, California: Morgan Kaufmann Publishers, pp. 3-35, 1988.
- [2] Conte R. e Castelfranchi C. Understanding the Functions of Norms in Social Groups Through Simulation. *Artificial Societies. The Computer Simulation of Social Life*. London: UCL Press, pp. 252-267, 1995.
- [3] Conte R., Gilbert N. e Sichman J. S. MAS and Social Simulation: A Suitable Commitment. *Proceedings of the First International Workshop on Multi-Agent Based Simulation*, Springer-Verlag, LNAI 1534, pp. 1-9, 1998.
- [4] David N., Sichman J.S e Coelho H. Agent-Based Social Simulation with Coalitions in Social Reasoning. *Proceedings of the Second International Workshop on Multi-Agent Based Simulation*, Springer-Verlag, LNAI 1979, pp. 244-265, 2001.
- [5] David N., Sichman J.S e Coelho H. Towards an Emergent-Driven Software Process for Agent-Based Simulation. *Proceedings of MABS02*, Springer-Verlag, LNAI series, in press.
- [6] Davidsson P. Multi-Agent Based Simulation: Beyond Social Simulation. *Proceedings of the Second International Workshop on Multi-Agent Based Simulation*, Springer-Verlag, LNAI1534, pp. 97-107, 2000.
- [7] Davidsson P. e Boman M. Saving Energy and Providing Value Added Services in Intelligent Buiding: A MAS Approach. *Agent Systems, Mobile Agents and Applications*, Springer-Verlag, pp.166-177, 2000.
- [8] Durfee E. H. e Rosenschein J. S. Distributed Problem Solving and Multi-Agent Systems: Comparisons and Examples, *Proceedings of the International Workshop on Distributed Artificial Intelligence*, 1994.
- [9] Epstein J.M. e Axtell R.L. *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up*. The MIT Press, 1996.
- [10] Ferber J. Reactive Distributed Artificial Intelligence: Principles and Applications, *Foundations of Distributed Artificial Intelligence*, New York: John Wiley & Sons, 1996.
- [11] Fernell R.D. e Lesser V. Parallelism in Artificial Intelligence Problem Solving: A Case Study of Gearsay II. *IEEE Transcation on Computers*, v.26, n.2, pp. 98-111, 1977.
- [12] Gilbert N. e Troitzsch K. *Simulation for the Social Scientist*. Milton Keyner: Open University Press, 1999.
- [13] Hales D. An Open Mind is not an Empty Mind: Experiments in the Meta-Noosphere. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, v.1, n. 4, <http://www.soc.surrey.ac.uk/JASSS/1/4/2.html>, 1998.
- [14] Hewitt C. Viewing Control Structures as Patterns of Passing Messages. *Artificial Intelligence*, v.8, pp. 323-364, 1977.
- [15] Lansing J.S. Artificial Societies and the Social Sciences. *Technical Report*, Santa Fe Institute, 2002.
- [16] Marietto M.B., David N., Sichman J.S e Coelho H. Requirements Analysis of Agent-Based Simulation Platforms. *Proceedings of MABS02*, Springer-Verlag, LNAI series, in press.
- [17] Minar N., Burkhart R., Langton C. e Askenaa M. *The Swarm Simulation System: A Toolkit for Building Multi-Agent Simulations*, <http://www.swarm.org>, 1996.
- [18] Moss S., Conte R. e Davidsson P. Agent Based Social Simulation: Technological Roadmap, *AgentLink SIG*, 2000.
- [19] Moss S. e Pahl-Wostl C. Integrating Physical and Social Modelling - the Example of Climate Change, *Integrated Assessment*, v.7, 2000.
- [20] RoboCup. *Robocup Oficial Site*, <http://www.robocup.org>, 2002.
- [21] SACL: *Simple Agent Communication Infrastructure*, <http://www.lti.pcs.usp.br/saci>, 2000.
- [22] SimCog. *Simulation of Cognitive Agents*, <http://www.lti.pcs.usp.br/SimCog>, 2002.