Ana Paula Cunha da Rocha Macedo

Metodologias de Negociação em Sistemas Multi-Agentes para Empresas Virtuais

Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
FEUP

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Dezembro 2001

Ana Paula Cunha da Rocha Macedo

Metodologias de Negociação em Sistemas Multi-Agentes para Empresas Virtuais



Universidade do Porto

Faculdade de Engenharia

FEUP

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Dezembro 2001

Ana Paula Cunha da Rocha Macedo

Mestre em Engenharia Electrotécnica e de Computadores pela

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Metodologias de Negociação em Sistemas Multi-Agentes para Empresas Virtuais

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Doutor em

Engenharia Electrotécnica e de Computadores



Dissertação realizada sob a orientação científica de

Doutor Eugénio da Costa Oliveira

Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

004(043)/MACa/MET
UNIVERSIDADE DO PORTO
Faculdade de Engenharia
BIBLIOTECA
N.º 60184
CDU 004(043)
Data 8 / 3 / 2002

Os trabalhos de investigação apresentados nesta

Tese de Doutoramento foram apoiados pelo

Programa PRODEP II, medida 5, acção 5.2, concurso N.1/PRODEP/96

Agradecimentos

Gostaria de expressar a minha gratidão a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

Em primeiro lugar, agradeço ao meu orientador, o Professor Eugénio Oliveira, pelo apoio, colaboração e orientação que sempre me reservou. Os seus conselhos e rigor científico constituíram uma preciosa ajuda na realização deste trabalho. Agradeço também o esforço desenvolvido na leitura e sugestões de revisão deste documento.

A todos os meus colegas do NIAD&R, em especial ao António, à Benedita, à Conceição, ao Fernando Mouta, ao Henrique, ao José Manuel, ao Luís Paulo, ao Marcos, ao Paulo Marinho, ao Pedro Faria e ao Pedro Silva, devo agradecer o companheirismo e o benefício decorrente das oportunidades de discussão científica. Um agradecimento especial é dirigido ao Rui Camacho, pela disponibilidade que sempre demonstrou, principalmente na fase final deste trabalho.

À Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, agradeço a disponibilização dos recursos necessários à execução deste trabalho.

Por último, mas não menos importante, agradeço à minha família pelo apoio e incentivo que me proporcionaram.

Resumo

A tese aqui apresentada propõe uma metodologia de negociação, no contexto dos Sistemas Multi-Agentes, adaptada ao cenário de formação de uma Empresa Virtual. A Empresa Virtual é uma estrutura organizacional constituída por uma rede de empresas independentes e heterogéneas, que se encontram em um mercado electrónico que, necessariamente, é um mercado competitivo e dinâmico.

Foram estas características, da Empresa Virtual e do Mercado Electrónico, que conduziram ao projecto por nós desenvolvido, e aqui reportado, de um Sistema Multi-Agente que representa o mercado electrónico, e onde a Empresa Virtual se constitui e apoia.

A formação da Empresa Virtual tem como objectivo primário a constituição de uma organização capaz de competir e responder aos requisitos de um mercado aberto, por inclusão na sua estrutura das empresas que apresentem maior competência em áreas específicas ou melhores condições de negócio.

O processo de negociação que desenvolvemos e propomos entre empresas independentes com vista à formação da Empresa Virtual, traduz-se em uma negociação multi-atributo, iterativa, com características apropriadas ao contexto de uma actividade comercial.

Assim, a manutenção da privacidade de informação relativa à utilidade de cada empresa, deve ser assegurada, sem prejuízo do poder negocial no mercado. Uma qualquer entidade que participa em um negócio, e uma empresa em particular, procura esconder do mercado a sua avaliação própria dos bens em negociação.

A aprendizagem é outra característica essencial a incluir na negociação em um mercado electrónico, pois se por um lado uma empresa não conhece, à priori, os seus parceiros de negócio, por outro necessita de saber como se adaptar às constantes alterações do mercado.

São estas funcionalidades – privacidade e aprendizagem – que são asseguradas no algoritmo de negociação proposto nesta tese, *negociação-Q*. O algoritmo de *negociação-Q* é um algoritmo de negociação adaptativa multi-critério, que usa argumentação qualitativa.

Para solucionar o problema da dependência entre negociações simultâneas e interdependentes na formação da Empresa Virtual, foi desenvolvido um algoritmo de satisfação de problemas de dependências distribuídas, que se baseia na estratégia de *diminuição progressiva da utilidade*. A aplicação deste algoritmo resulta na selecção, de forma não centralizada, da solução que minimiza o valor da diminuição da utilidade total dos agentes envolvidos na resolução dessas dependências.

Finalmente, foi também desenvolvida uma plataforma computacional, denominada *ForEV (Formação de Empresas Virtuais)*, que inclui as metodologias de negociação reportadas no presente trabalho.

Abstract

Through the thesis here reported, we are proposing a negotiation methodology, in the context of Multi-Agent Systems, which is suitable for Virtual Enterprise formation scenario. Virtual Enterprise is defined as an organizational structure composed of a network of heterogeneous and independent enterprises that meet themselves in an Electronic Market, which necessarily is both competitive and dynamic.

All these characteristics, those associated to the Virtual Enterprise and those associated to the electronic market, led us to the design of a Multi-Agent System representing the Electronic Market to support the Virtual Enterprise life cycle.

Virtual enterprise formation phase has as primary objective the creation of an organization able to compete as well as respond to the demanding requirements coming from an open market, by including in that organization those enterprises which have either the higher competence or present the best transaction conditions for that business area.

The negotiation process we have developed, and we are here proposing, between independent enterprises leading to the Virtual Enterprise formation, relies on an iterative, multi-attribute negotiation appropriated for the context of a business activity.

Maintaining enterprise utility related information private is here enforced without endangering its own negotiation power in that market. An entity participating in a business transaction, and an enterprise in particular, tries to hide from the market its own private evaluation of the goods under negotiation.

On the other hand, adaptation should also be another important characteristic to be included in any entity present in an electronic market. In fact, although an enterprise doing business does not know, in advance, its own potential partners, it has, nevertheless, to pay attention to the eventual market changes and to adapt as soon as possible to those changes.

Therefore, those characteristics, both privacy and learning, have been included in the hart of the proposed negotiation process – the "Q-Negotiation" algorithm. "Q-Negotiation" is then an iterative, adaptive, multi-attribute negotiation algorithm using qualitative argumentation.

Moreover, in order to solve the simultaneous partial inter-dependent negotiations dependency problem, arising during the Virtual Enterprise formation phase, a specific algorithm has been developed. This algorithm is a decentralized distributed dependency satisfaction problem solver which is based on the progressive utility decrement concept. Through the application of this algorithm, the Multi-Agent System is able to, in a non-centralised way, select that solution which minimizes the total agents' utility decrement value for those agents involved in that specific dependency.

Finally, an appropriate computing platform was developed, named *ForEV* (acronym for *Virtual Enterprises Formation* equivalent in Portuguese) which includes and combines the methods here reported in this thesis.

Resumé

Cette thèse ici présentée, propose une méthodologie de négociation, dans le contexte des Systèmes Multi-Agent, adaptée pour la formation de une Entreprise Virtuelle. L'Entreprise Virtuelle c'est une structure composée par un réseau d'entreprises indépendantes et hétérogènes, qui se rencontrent dans un marché électronique qui est, nécessairement, un marché à la fois compétitive et dynamique. C'étaient ceux caractéristiques là, et de l'entreprise virtuelle et du marché électronique, qui ont conduit au projet que nous avons proposé, et ici décrit, d'un Système Multi-Agent qui représent le marché électronique, et où l'Entreprise Virtuelle est constituée.

La formation de l'Entreprise Virtuelle a comme objectif primaire la constitution d'une organisation capable d'être en compétition et répondre aux réquisits d'un marché ouvert, par inclusion, dans cette structure, des entreprises qui présentent plus de compétence en un domaine spécifique ou bien les meilleures conditions pour l'affaire désirée. Le processus de négociation, que nous avons développé et nous proposons ici, reliant des entreprises indépendantes pour la formation de l'Entreprise Virtuelle, se traduit en une négociation type multi-attribut, itératif, avec des caractéristiques appropriées au contexte d'une activité commercial.

De cette façon, la maintenance de la privauté de l'information en rapport à l'utilité de chaque entreprise doit être assurée, sans préjudice de la capacité de bien négocier dans le marché. Chaque entité qui participe dans une affaire, et en particulier chaque entreprise, elle veut cacher du marché son évaluation spécifique sur les produits en train d'être négociés.

L'apprentissage est une autre caractéristique essentielle à la négociation dans un marché électronique, car si d'une part une entreprise ne connaît pas ces partenaires dans l'affaire, d'autre part elle a besoin de savoir comment s'adapter aux changements constants du marché. Ils sont ceux fonctionnalités ci – la privauté et l'apprentissage – qui sont assurées par moyen de l'algorithme de négociation qui est proposé dans cette thèse, la *Négociation-Q*. L'algorithme de Négociation-Q est un algorithme de négociation adaptatif, multi-attribut, lequel utilise de l'argumentation qualitative.

Pour résoudre le problème de la dépendance entre négociations simultanées et interdépendantes dans le procès de formation de l'Entreprise Virtuelle, on a développé un algorithme de satisfaction des problèmes de dépendances distribuées, lequel se base sur le concept de *diminution progressif de l'utilité*. L'emploi de cet algorithme permet la sélection, de façon non centralisé, de la solution qui minimise la valeur de la diminution de l'utilité totale des agents engagés en la résolution de ces dépendances.

Finalement, il a été aussi développé une plate-forme informatique, dénommé *ForEv* (acronyme portugais pour Formation de Entreprises Virtuelles), qui inclue les méthodologies de négociation rapportées en ce travail.

Índice

1. Introdução ***1***

1.1. Tema 1

1.2. Objectivos 2

1.3. Contribuições Científicas 3

1.4. Estrutura da Tese 6

2. Empresa Virtual ***7***

2.1. Introdução 7

2.2. A perspectiva económica da Empresa Virtual 10

2.3. Conceito de Empresa Virtual 14

2.4. Caracterização da Empresa Virtual 16

2.5. Estrutura e Organização de uma Empresa Virtual 21

2.5.1. Identificação da necessidade 22

2.5.2. Selecção de parceiros 22

2.5.3. Operação 23

2.5.4. Dissolução 24

2.6. Sistemas de Empresas Virtuais 24

2.6.1. Apresentação de alguns sistemas de Empresas Virtuais 25

2.6.2. Análise comparativa 34

2.7. Requisitos e desafios 35

2.7.1. A tecnologia de informação na Empresa Virtual 36

2.7.2. Confiança e Compromisso 37

2.8. Conclusão 38

3. Comércio Electrónico ***41***

3.1. Introdução 41

3.2. O Mercado Electrónico 42

3.2.1. A função de intermediário 45

3.2.2. A comunicação no Mercado Electrónico 47

3.3. Estrutura e Organização do Comércio Electrónico 49

3.3.1. Informação 49

3.3.2. Negociação 50

3.3.3. Resolução 51

3.4. Sistemas de Comércio Electrónico 51
3.4.1. Apresentação de alguns Sistemas de Comércio Electrónico 51
3.4.2. Análise comparativa 59
3.5. O Comércio Electrónico e a Empresa Virtual 61
3.6. Conclusão 62

4. Sistema Multi-Agente 65

4.1. Noção de Agente 65
4.1.1. Arquitecturas de agente 67
4.1.2. A arquitectura "BDI" 69
4.2. Sistemas Multi-Agentes 74
4.2.1. Motivação de um Sistema Multi-Agente 74
4.2.2. Interacção entre agentes 74
4.2.2.1. Plataforma de comunicação 75
4.2.2.2. Linguagem de comunicação 78
4.2.2.3. Ontologia 79
4.3. O Mercado Electrónico visto como um SMA 81
4.3.1. Ontologia dos bens do mercado 83
4.3.2. Agente Mercado 84
4.3.3. Agente Empresa 86
4.4. Conclusão 89

5. Negociação 91

5.1. Introdução 91
5.1.1. A necessidade da negociação automática em um ME 92
5.1.2. Requisitos para a negociação em um ME 92
5.2. Caracterização da Negociação 93
5.2.1. Espaço da negociação 94
5.2.2. Compromisso na negociação 97
5.3. Mecanismos de negociação 98
5.3.1. Leilão 98
5.3.2. Teoria dos jogos 103
5.3.3. Outros mecanismos de negociação 103
5.3.3.1. Argumentação 104
5.3.3.2. Planeamento por Contratação 105
5.3.3.3. Aproximação Heurística 106
5.3.4. A negociação multi-atributo 106
5.4. Um modelo de negociação para a formação de EVs 107
5.4.1. Descrição formal 108

5.4.2. Protocolo de negociação 109
5.4.3. Formulação do anúncio 110
5.4.4. Formulação da proposta 111
5.4.5. Avaliação de propostas e formulação de comentário 112
5.4.6. Formulação do pedido 115
5.5. Conclusão 115

6. Características Avançadas na Negociação 117

6.1. Introdução 117
6.2. Conceito de Aprendizagem 118
6.2.1. Aprendizagem supervisionada 118
6.2.2. Aprendizagem por reforço 119
6.2.3. Aprendizagem não supervisionada 120
6.2.4. Classificação de alguns sistemas usando aprendizagem na negociação 120
6.3. Descrição da aprendizagem por reforço 122
6.3.1. A tarefa de aprendizagem 122
6.3.2. Algoritmos de Aprendizagem por Reforço 124
6.3.2.1. Programação Dinâmica 124
6.3.2.2. Métodos Monte Carlo 124
6.3.2.3. Diferença Temporal 125
6.3.3. Exploração e Observação 126
6.3.3.1. Estratégia ambiciosa 127
6.3.3.2. Estratégia aleatória 127
6.3.3.3. Estratégia baseada em intervalos 128
6.4. Aprendizagem na formulação da proposta a negociar 128
6.4.1. Aprendizagem-Q 129
6.4.2. Formulação de uma proposta 130
6.5. Conceito de Dependência Distribuída 133
6.5.1. Retrocesso centralizado 134
6.5.2. Retrocesso síncrono 134
6.5.3. Retrocesso assíncrono 135
6.5.4. Pesquisa assíncrona de compromisso fraco 136
6.5.5. Prioridade dinâmica 136
6.5.6. Pesquisa assíncrona de compromisso fraco (multi) 137
6.5.7. Restrições baseadas no Mercado 137
6.5.8. Análise Comparativa 138
6.6. Resolução de dependências inter-empresas 139
6.6.1. Resolução do Problema de Satisfação de Dependências Distribuídas 142

6.6.2. Transferência de compensações 145
6.7. Conclusão 146
7. Descrição e Avaliação do Sistema ForEV 149
7.1. Introdução 149
7.2. A arquitectura do sistema ForEV 150
7.2.1. Agente Registo 151
7.2.2. Agente Mercado 153
7.2.3. Agente Empresa 156
7.3. Implementação 158
7.3.1. Plataforma de comunicação 158
7.3.2. O algoritmo de Negociação-Q 160
7.3.3. Problema de Satisfação de Dependências Distribuídas 165
7.4. Resultados experimentais 169
7.4.1. A aprendizagem na negociação 170
7.4.2. Exemplo de negociação na formação da EV 177
7.4.3. Exemplo de resolução de PSDD 180
7.5. Conclusão 184
8. Conclusões 187
8.1. Síntese do Trabalho Desenvolvido 187
8.2. Limitações e Perspectivas de Desenvolvimento Futuro 189
Referências 191
Anexo A – Especificação da linguagem de comunicação 203

Lista de figuras

Figura 1. Sistema empresarial tradicional vs Sistema empresarial cooperativo 8

Figura 2. Perspectivas de desenvolvimento organizacional [Zimmermann, 1997] 10

Figura 3. Efeito da redução dos custos de coordenação [Bakos e Brynjolfsson, 1997] 12

Figura 4. Empresa Virtual 17

Figura 5. Rede de empresas e Empresa Virtual 18

Figura 6. Estruturas organizacionais de configuração em rede 20

Figura 7. Mercado monopolista e mercado competitivo 42

Figura 8. A entidade Adaptador 46

Figura 9. A entidade "Quadro Negro" 46

Figura 10. A entidade Mediador 47

Figura 11. Comércio Electrónico na fase de formação da EV 62

Figura 12. Representação de um agente deliberativo genérico 67

Figura 13. Representação de um agente reactivo genérico 68

Figura 14. Representação de um agente híbrido genérico 69

Figura 15. Diagrama de uma arquitectura BDI genérica 71

Figura 16. Plataforma CORBA 76

Figura 17. Plataforma JATLite 77

Figura 18. O mercado electrónico visto como um Sistema Multi-Agente 83

Figura 19. Definição parcial do bem "carro" 84

Figura 20. Estrutura do Agente Mercado 85

Figura 21. Estrutura do Agente Empresa 87

Figura 22. Espaço da negociação 94

Figura 23. Classificação do leilão (item único) 100

Figura 24. Protocolo de negociação 110

Figura 25. Aprendizagem supervisionada 119

Figura 26. Aprendizagem por reforço 120

Figura 27. Aprendizagem não supervisionada 120

Figura 28. Aprendizagem-Q 130

Figura 29. Algoritmos de resolução de PSDD (uma variável) 138

Figura 30. Algoritmos de resolução de PSDD (múltiplas variáveis) 139

Figura 31. Protocolo de resolução de PSDD 141
Figura 32. Exemplo de resolução de PSDD 143
Figura 33. O agente Registo como estabelecedor de contacto entre agentes relevantes 151
Figura 34. Descrição da entidade Bem, na construção da ontologia 153
Figura 35. Descrição de um Atributo, na definição de uma necessidade do agente Mercado .. 155
Figura 36. Definição das dependências associadas a um atributo 157
Figura 37. Criação de um novo local de mercado por parte do Agente Mercado 160
Figura 38. Detecção dependências distribuídas entre agentes Empresa 165
Figura 39. Resolução de PSDD envolvendo quatro agentes 166
Figura 40. Negociação envolvendo três agentes (dois adaptativos e um não adaptativo) 171
Figura 41. Processo de negociação visto pelo agente Empresa AE_1 (cenário 1) 172
Figura 42. Processo de negociação visto pelo agente Empresa AE_2 (cenário 1) 173
Figura 43. Processo de negociação visto pelo agente Empresa AE_{2_NA} (cenário 1) 173
Figura 44. Negociação envolvendo um agente adaptativo e um não adaptativo 174
Figura 45. Processo de negociação visto pelos agentes Empresa AE_2 e AE_{2_NA} (cenário 2) 175
Figura 46. Processo de negociação do componente "tecido" 179
Figura 47. Processo de negociação do componente "máquina_costura" 180
Figura 48. Processo de resolução de PSDD entre os agentes AE_{t2} e AE_{b1} 183
Figura 49. Mensagens trocadas no processo de resolução de PSDD 184

Lista de tabelas

Tabela 1. Definição de Empresa Virtual (vários autores) 16

Tabela 2. Ciclo de vida da Empresa Virtual (vários autores) 21

Tabela 3. Sistemas para Empresas Virtuais e suporte do ciclo de vida 34

Tabela 4. Ciclo de vida da transacção de negócio (vários autores) 49

Tabela 5. Sistemas de Comércio Electrónico e suporte do ciclo de vida 59

Tabela 6. Uso de intermediário em sistemas de Comércio Electrónico 60

Tabela 7. Classificação da aprendizagem em alguns sistemas 122

Tabela 8. Exemplo de uma resolução de PSDD entre dois agentes 144

Tabela 9. Descrição das mensagens trocadas no processo de resolução de PSDD 167

Tabela 10. Requisitos do agente Mercado para o componente tecido 170

Tabela 11. Competência dos agentes Empresa AE_1, AE_2, AE_{2_NA} 170

Tabela 12. Requisitos do agente Mercado para o bem casaco 177

Tabela 13. Competência dos agentes Empresa AE_{b1} e AE_{b2} 177

Tabela 14. Competência dos agentes Empresa AE_{m1} e AE_{m2} 178

Tabela 15. Dependências apresentadas pelos agentes Empresa AE_{t1} e AE_{t2} 181

Tabela 16. Dependências apresentadas pelos agentes Empresa AE_{b1} e AE_{b2} 181

Glossário

ACL	*"Agent Communication Language"*
AMR	*"Agent Message Router"*
AE	Agente Empresa
AM	Agente Mercado
AR	Agente Registo
BDI	"Belief-Desire-Intention"
CAD	*"Computer Aided Design"*
CAE	*"Computer Aided Engineering"*
CAM	*"Computer Aided Manufacturing"*
CORBA	*"Common Object Request Broker Architecture"*
DT	Diferença Temporal
EDI	*"Electronic Data Interchange"*
EV	Empresa Virtual
FTP	*"File Transfer Protocol"*
HTML	*"Hyper Text Markup Language"*
HTTP	*"Hyper Text Transport Protocol"*
IDL	*"Interface Definition Language"*
JATLite	*"Java Agent Template, Lite"*
KIF	*"Knowledge Interchange Format"*
KQML	*"Knowledge Query Manipulation Language"*
ME	Mercado Electrónico
NIIIP	*"National Industrial Information Infrastructure Protocols"*
PD	Programação Dinâmica
PDM	*"Product Data Management"*
PSD	Problema de Satisfação de Dependências
PSDD	Problema de Satisfação de Dependências Distribuídas
RMI	*"Remote Method Invocation"*
RPC	*"Remote Procedure Call"*
SGML	*"Standard Graphical Mark-up Language"*
SMA	Sistema Multi-Agente
STEP	*"Standard for The Exchange of Product model data"*
WWW	*"World Wide Web"*

Capítulo 1

Introdução

Este capítulo pretende fornecer ao leitor uma visão global do trabalho por nós desenvolvido e reportado na presente dissertação. Após uma breve exposição do tema abordado, são descritos os objectivos e contribuições científicas que o autor considera relevantes neste trabalho. Por último, é apresentada a estrutura do documento.

1.1. Tema

O tema abordado nesta tese refere a aplicação de Sistemas Multi-Agentes no contexto de Empresas Virtuais, incidindo essencialmente no uso de metodologias avançadas de negociação com vista à formação da Empresa Virtual.

O estudo dos métodos e técnicas suportando um *Sistema Multi-Agente* insere-se no domínio de investigação da Inteligência Artificial Distribuída. Em particular, a área de investigação associada aos sistemas multi-agentes à qual este trabalho dedica mais ênfase, é a *negociação* competitiva entre agentes deliberativos, autónomos e heterogéneos.

As metodologias que tornam possível o suporte informático de uma *Empresa Virtual* incluem-se no domínio científico da computação distribuída. As técnicas envolvidas tratam o modo como diferentes empresas se reúnem e colaboram em um ambiente distribuído, que é geralmente suportado por uma rede computacional permitindo a existência de um mercado electrónico. Mas o mercado electrónico, antes de ser o suporte de uma Empresa Virtual, foi e é o suporte de uma outra actividade denominada Comércio Electrónico.

Por *Comércio Electrónico* entende-se a realização de uma transacção comercial não em um espaço físico, como no caso do comércio tradicional, mas sim em um local que não sendo um espaço de encontro físico, é denominado de virtual, e é geralmente suportado por uma rede de comunicação. No contexto do Comércio Electrónico, os compradores e vendedores de um bem de consumo final (livro, CD, vestuário, passagem de avião, ...) encontram-se geograficamente distribuídos, mas a transacção comercial é realizada fazendo uso de meios computacionais apropriados. O Comércio Electrónico, tal como é descrito neste parágrafo, é também denominado de comércio *"negócio-a-consumidor" ("business-to-consumer")*.

A *Empresa Virtual* tem algumas semelhanças com o Comércio Electrónico, pois ambos implicam uma actividade comercial quando inseridos em um mercado electrónico. Contudo, na Empresa Virtual o que está em causa é a transacção não de um bem de consumo final (como no caso do Comércio Electrónico), mas sim de vários bens provenientes de várias empresas individuais, que em conjunto formam um outro bem (final ou não). Porque o comércio neste caso é estabelecido entre empresas, é usual designar-se este tipo de comércio por comércio *"negócio-a-negócio" ("business-to-business").* A Empresa Virtual é uma estrutura organizacional temporária, surgindo quando é necessário satisfazer uma necessidade específica do mercado, e dissolvendo-se quando tal necessidade é satisfeita.

O trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação tem por objectivo a proposta de como determinar, através de técnicas automáticas e avançadas de negociação, o modo de constituir uma Empresa Virtual mais adequado à satisfação de uma necessidade actual de um cliente específico ou do próprio mercado.

1.2. Objectivos

A motivação principal para este trabalho resultou da necessidade de desenvolvimento de metodologias próprias para tratamento dos novos requisitos que emergem da actual economia baseada em mercados electrónicos.

O desenvolvimento exponencial das tecnologias de informação e comunicação, permite o surgimento de uma nova economia, mais aberta, onde deixam de existir as tradicionais barreiras quer de tempo, quer de espaço. Os participantes de um negócio podem estar geograficamente situados em qualquer ponto do globo, e realizar os seus negócios em qualquer instante sem imposição de horário rígido. Além do factor económico aqui evidente, há também a considerar as vantagens de tal solução em termos de comodidade (um indivíduo não necessita de se deslocar para procurar parceiros de negócio, ou efectivamente realizar o negócio).

Mas esta abertura do mercado origina alguns problemas. Se o mercado é aberto, o número de participantes que aí se encontram pode ser muito elevado, facto que torna este extremamente competitivo. Quando o mercado é aberto, a possibilidade dos participantes serem heterogéneos é elevada. A combinação destas duas características (competitividade e heterogeneidade), apresenta alguns desafios:

- Como entender informação proveniente de fontes, necessariamente, distintas?
- Como tratar um volume tão extenso de informação?
- Como responder com eficácia à dinâmica do mercado?
- Como sobreviver em um mercado tão competitivo?

A tecnologia baseada em agentes [Jennings *et al.*, 1996] é apropriada para utilização neste contexto, onde a informação é extensa e dinâmica. Um agente é uma entidade computacional e,

como tal, capaz de tratar grandes volumes de informação. Um agente é uma entidade autónoma, que possui objectivos próprios e, como tal, capaz de representar os interesses de um participante do mercado. Um agente é também uma entidade com capacidade de comunicar, logo capaz de dialogar com os outros participantes do mercado. E um agente é ainda uma entidade racional, logo capaz de negociar os termos de uma transacção comercial, com base nos seus objectivos próprios.

Neste trabalho, é proposta a utilização de um *Sistema Multi-Agente* para modelação de uma Empresa Virtual, onde os agentes representam as empresas individuais autónomas e heterogéneas, que possuem os seus próprios objectivos e métodos de resolução de problemas.

Actualmente existem vários estudos relacionados com a operação de uma Empresa Virtual, focando aspectos essenciais neste campo, nomeadamente a partilha de informação entre empresas independentes que colaboram em uma mesma actividade conjunta, a gestão do fluxo de trabalho e a verificação da execução do mesmo.

Contudo, a fase de formação da própria Empresa Virtual, por selecção das empresas individuais que serão membros desta, é um ponto ainda pouco explorado. Visto que o suporte de uma Empresa Virtual é o mercado electrónico (um mercado aberto), é viável pensar que uma selecção cuidada das empresas constituintes conduzirá ao surgimento de uma estrutura óptima em termos de competência e adequação à situação actual. É exactamente neste ponto que recaiu a escolha do trabalho reportado na presente dissertação, onde o objectivo é aproveitar o facto de o mercado electrónico ser um mercado aberto, para encontrar, de entre um leque muito alargado de possibilidades, as empresas mais competentes, ou que ofereçam melhores condições de negócio. Estas empresas irão formar a Empresa Virtual como uma estrutura organizacional óptima, de entre as opções disponíveis, em termos de competitividade.

A ênfase deste trabalho foi colocada no estudo da negociação em Sistemas Multi-Agentes, mais concretamente na concepção de métodos que permitam aos agentes representativos, quer da necessidade do mercado, quer das empresas individuais, estabelecer o melhor acordo possível na concepção da Empresa Virtual, com base nos seus objectivos próprios.

A plataforma ForEV (*Formação de Empresas Virtuais*) foi desenvolvida para demonstração das metodologias de negociação propostas, e é constituída por um sistema multi-agente onde cada agente é uma entidade autónoma, representativa de uma empresa individual, com capacidade de negociar a sua inclusão na Empresa Virtual.

1.3. Contribuições Científicas

As contribuições científicas mais importantes a salientar no trabalho descrito nesta dissertação são incluídas no desenvolvimento do processo de negociação entre empresas individuais e heterogéneas, que culmina na formação da Empresa Virtual, e incluem:

- Arquitectura de um Sistema Multi-Agente apropriado, incluindo os agentes específicos: agente mercado e agente empresa (ver capítulo 4)

  O agente mercado é o agente representativo da necessidade da Empresa Virtual. Inclui a definição dos bens necessários à Empresa Virtual, e o módulo de selecção das empresas que irão disponibilizar esses bens e, consequentemente, formar a Empresa Virtual. O agente empresa é o agente representativo de uma empresa individual, que irá competir no mercado para a inclusão na Empresa Virtual.

- Análise qualitativa da utilidade de uma proposta (ver capítulo 5)

  Em uma actividade comercial, os participantes têm como objectivo, geralmente, a compra ou venda de um determinado bem pelo melhor preço. Mas o preço não é o único atributo tido em consideração quando da negociação sobre esse bem: a qualidade e o prazo de pagamento são factores igualmente importantes, bem como o serviço de pós-venda ou outros factores que variam, em grau de importância, de participante para participante.

  Assim, um bem é identificado por um conjunto de atributos que possuem uma importância (ou utilidade) relativa para diferentes participantes. A realização computacional do processo de negociação de determinado bem, obriga a uma tradução destas utilidades.

  A tradução de uma utilidade em um valor numérico exacto pode ser extremamente difícil. Neste trabalho é proposta uma tradução, não quantitativa, mas sim qualitativa das utilidades dos diferentes atributos que compõem um bem, e que se traduz no estabelecimento de uma ordenação de preferências relativas desses atributos.

- Negociação multi-atributo, com base em argumentação atributo a atributo (ver capítulo 5)

  Um bem é identificado por múltiplos atributos. A negociação de transacção de um bem, é assim, a negociação de quais os valores a atribuir a cada um dos atributos que compõem esse bem. A principal originalidade diz, neste caso, respeito a como a negociação é realizada, não com base em um valor representativo de uma função de utilidade que inclui os valores de todos os atributos, mas sim com base em comentários realizados sobre cada um dos atributos.

  A negociação ocorre como um processo iterativo de propostas e contra-propostas, sendo estas últimas um comentário qualitativo às propostas anteriormente efectuadas. O protocolo apropriado a este tipo de negociação foi por nós especificado e implementado.

- Capacidade de aprendizagem durante o processo de negociação (ver capítulo 6)

  Os agentes representativos de empresas individuais que pretendam pertencer à Empresa Virtual, entram em um processo de negociação com um outro agente representativo da necessidade da Empresa Virtual. O processo iterativo da negociação, ao contrário da utilização usual, permite a aprendizagem durante o próprio processo de negociação, por parte do agente empresa. Este agente aprende como melhorar a sua proposta futura do ponto de vista da necessidade da EV.

  A aprendizagem é realizada seguindo um algoritmo de aprendizagem por reforço (aprendizagem-Q), que inclui capacidades quer de observação (aprender com acções já conhecidas), quer de exploração (aprender com acções desconhecidas). A selecção deste algoritmo prende-se com o facto de a capacidade de exploração ser importante em um ambiente dinâmico, como é o caso de um mercado electrónico.

  O algoritmo de aprendizagem-Q foi ligeiramente adaptado, neste trabalho, considerando-se o espaço de exploração não na sua totalidade (seria muito extenso), mas apenas um subconjunto deste. Este subconjunto é determinado por consideração de apenas aquelas acções que possam ser consideradas uma boa solução, com base nos comentários recebidos de propostas anteriores.

- Resolução de dependências distribuídas (dependências entre negociações simultâneas), mantendo a privacidade de informação, relativa a preferências negociais, de cada uma das empresas (ver capítulo 6)

  Na formação de uma Empresa Virtual, estão a ocorrer várias negociações em simultâneo, uma para cada um dos bens[1] necessários à Empresa Virtual. É possível que ocorram dependências entre bens diferentes, obrigando as empresas respectivas a resolver entre si tais dependências. Este problema de resolução de dependências distribuídas (que também podem ser vistas como um tipo de restrições distribuídas) implica uma troca de possíveis soluções locais entre os agentes envolvidos, até que um acordo seja estabelecido. A solução acordada deve ser a melhor possível vista pelo conjunto de agentes com valores dependentes.

  O algoritmo proposto para resolução do problema de satisfação de dependências distribuídas, permite que os agentes divulguem aos outros agentes, não o valor da utilidade que uma solução alternativa representa para si, mas sim o valor da diminuição da utilidade dessa solução.

  Assim, e diferentemente de outras abordagens, é garantida a privacidade da informação da utilidade de um agente. Em uma actividade comercial, nenhum agente quer revelar ao outro mais do que estritamente necessário, para não perder poder negocial no mercado.

---

[1] Mais tarde, iremos designar um *bem* como um conjunto de *componentes*. Contudo, este texto de introdução torna-se mais legível se tal distinção não for evidenciada já.

- Implementação do sistema *ForEV* (*Formação de Empresas Virtuais*) (ver capítulo 7)
  O sistema *ForEV* ilustra as metodologias propostas nesta tese, relativas ao processo de negociação automática que implementa a fase de formação da uma Empresa Virtual.

1.4. Estrutura da Tese

Esta tese encontra-se organizada em oito capítulos.

Os segundo e terceiro capítulos intitulados, respectivamente, *Empresa Virtual* e *Comércio Electrónico*, representam um estudo e discussão dos aspectos relacionados com a realização de actividades comerciais em um sistema electrónico. Enquanto o segundo capítulo incide tal estudo sobre a actividade comercial onde os participantes são empresas que, em conjunto, formam corporações temporárias (Empresas Virtuais), o terceiro capítulo, incide sobre actividades comerciais menos complexas, onde o que está em causa é a compra e venda de bens finais de consumo (Comércio Electrónico).

O quarto capítulo, *Sistemas Multi-Agentes*, além de uma descrição geral das técnicas relacionadas com os sistemas multi-agentes, apresenta a arquitectura de um sistema multi-agente apropriado para o contexto das Empresas Virtuais.

As metodologias de negociação em sistemas multi-agentes é um estudo realizado no quinto capítulo, *Negociação*, onde é também proposto um protocolo de negociação próprio para a formação de uma Empresa Virtual. Esse protocolo inclui uma avaliação multi-atributo e qualitativa dos bens em negociação. O sexto capítulo, *Características Avançadas na Negociação*, estende este mecanismo de negociação, com a inclusão de capacidade de aprendizagem e satisfação de interdependências entre negociações simultâneas.

O sistema *ForEV* implementa as metodologias de negociação automática propostas nos capítulos anteriores, e é descrito no sétimo capítulo, *Descrição e Análise do Sistema ForEV*. Este capítulo apresenta ainda alguns resultados experimentais obtidos com este sistema.

O oitavo capítulo, *Conclusão*, é uma breve reflexão da autora, relativa ao trabalho desenvolvido na presente dissertação, sendo enumeradas algumas limitações e perspectivas de desenvolvimento futuro. Segue-se a lista de toda a bibliografia referenciada neste documento.

É ainda incluído um anexo (anexo A) que enumera as mensagens trocadas entre os agentes presentes no sistema *ForEV*.

Capítulo 2

Empresa Virtual

Neste capítulo é apresentado o conceito de Empresa Virtual, explicado o porquê do surgimento desta nova estrutura organizacional, e enumeradas as suas características, requisitos e desafios. É ainda incluída uma apresentação de alguns sistemas existentes para Empresas Virtuais, e realizada uma análise comparativa entre eles.

2.1. Introdução

Em termos económicos, registam-se actualmente no mercado pressões competitivas no sentido de redução de preços, obtenção de produtos ou serviços em tempo reduzido, aumento da qualidade e funcionalidade focada para o consumidor. Estas pressões conduzem a uma interacção intensiva entre empresas, e à consequente *formação de corporações*, originando uma nova estrutura de mercado que obriga a uma alteração significativa do comportamento dos agentes económicos. O sistema económico tradicional, caracterizado pela existência de empresas que funcionam isoladamente, torna-se incapaz de responder a estes novos requisitos. Verifica-se então que situações fortemente competitivas, induziram como resposta a necessidade da cooperação parcial. Nos sistemas económicos cooperativos, as empresas ou indivíduos, consumidores e fornecedores, encontram-se separados geograficamente, e a necessidade de oferta e procura de determinado bem acontece não de uma forma constante, mas sim temporária.

Os pontos seguintes sumariam as diferenças entre o sistema económico dito tradicional e o novo sistema económico que surgiu em resposta a estes requisitos, e que é denominado de sistema cooperativo (ver Figura 1).

Nos sistemas económicos tradicionais:

- A empresa opera isoladamente, guiada por planos e previsões que são geralmente estáticas, i.e., invariantes com o tempo. Se qualquer alteração é necessária, essa alteração é considerada uma interrupção e é requerida a intervenção e consequente decisão do gestor.
- O funcionamento da empresa gere-se, essencialmente por políticas de tradição e padronização. Por tradição, entende-se o uso de métodos formais em vigor, com sucesso, há já bastante tempo na empresa, e que o gestor tem relutância em

substituir. Por padronização entende-se a recusa de incluir processos negociais pontuais, porque isso obriga a alterar os métodos gerais utilizados.

- A empresa apresenta uma estrutura organizacional que é geralmente hierárquica, constituída por vários níveis de gestão que criam muitas vezes custos desnecessários e atrasos na tomada de decisões.

Nos sistemas económicos cooperativos:

- Um serviço ou produto, porque demasiado complexo ou porque impossível de realizar por uma única empresa, pode ser obtido por decomposição em subtarefas mais elementares, e cada uma destas subtarefas é desenvolvida pela empresa com maior competência na área.
- A estrutura organizacional não é hierárquica, mas sim baseada em equipas (empresas) que comunicam entre si. As funções não principais de uma empresa são exteriores a esta, o que possibilita menor custo e maior qualidade do produto ou serviço a fornecer por cada uma das empresas individuais.
- As empresas vêem-se como parte de cadeias de valores adicionais, operando em ambientes onde a capacidade de mudança é tão importante como a eficiência. Incentivado pela intensa competitividade global, o mercado será dominado pelo consumidor que coloca pedidos de negócio muitas vezes complexos e alteráveis. As empresas necessitam responder rápida e eficientemente às necessidades do consumidor. Devido aos requisitos diversos, imprevisíveis e complexos do mercado, nenhuma empresa, mesmo que de grande dimensão, será capaz de satisfazer estes pedidos por si só. O sucesso dependerá assim da habilidade das empresas com competências complementares, em cooperar e rapidamente formar equipas capazes de responder a estas oportunidades de negócio complexas. Estas características são também essenciais à agilidade das empresas.

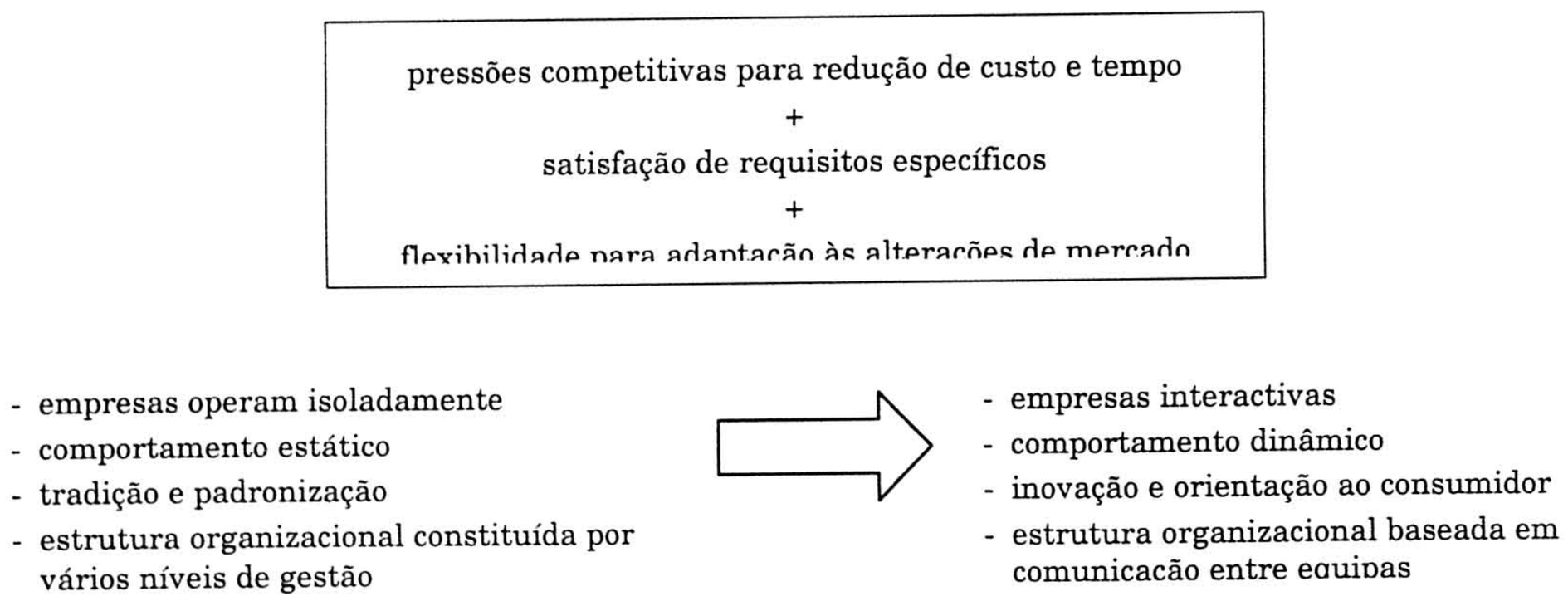


Figura 1. Sistema empresarial tradicional vs Sistema empresarial cooperativo

Uma outra questão que se coloca actualmente no mercado, é o facto de o intervalo de tempo em que um produto tem sucesso, estar a decrescer rapidamente. Os consumidores tornam-se mais exigentes em termos de obtenção de novos e/ou melhores produtos. A alteração constante da situação de mercado, exige uma elevada flexibilidade de resposta por parte dos fornecedores. Para dar resposta a estas alterações do mercado, as corporações deixam se ser estáticas, e possuem agora uma estrutura alterável de forma dinâmica, de acordo com as alterações do mercado. Estas *corporações temporárias*, são denominadas corporações ou empresas virtuais.

A *Empresa Virtual* (EV), na sua definição mais geral e abrangente, consiste em uma cooperação voluntária de várias empresas autónomas e, possivelmente, distribuídas geograficamente. Todos as empresas participantes disponibilizam os seus recursos, competências, capacidades e conhecimento, para obtenção de um serviço ou produto com base em um entendimento comum [Fischer *et al.*, 1996]. A Empresa Virtual possui habilidade de reconfiguração dinâmica em reacção às condições do ambiente exterior.

As empresas individuais concentram-se na redução dos seus processos para competências principais que tentam obter com a máxima qualidade e lucro. Assim, as empresas individuais tornam-se um nicho de competência em uma área específica do seu domínio. A formação de corporações permite a partilha de competências, custos, recursos (de capital, intelecto e tecnológicos), e ainda a redução de complexidade do problema.

Muitas empresas individuais de dimensão reduzida apercebem-se agora dos benefícios de pertencer a uma Empresa Virtual - beneficiam dos recursos de uma grande organização, enquanto mantêm a agilidade e independência de uma pequena organização.

Zimmermann [Zimmermann, 1997] identifica quatro estruturas essenciais de desenvolvimento organizacional, quando existe uma corporação. Esta classificação é realizada segundo três factores: nível organizacional, nível de desempenho e nível de estratégia (ver Figura 2).

- Nível organizacional

  O nível organizacional de uma corporação identifica a pertença dos seus elementos a uma mesma empresa, ou empresas independentes. Se os elementos de uma corporação são equipas de uma mesma empresa, as relações entre eles são *intra-organizacionais*. Se os elementos de uma corporação são empresas independentes, as relações entre eles são *inter-organizacionais*.

- Nível de desempenho

  O nível de desempenho de uma corporação identifica o carácter permanente da sua estrutura. A corporação é *estável* se a sua estrutura é estática, isto é, invariante com o tempo. Os seus membros e respectivas funções, não se alteram. A corporação é *flexível* se a sua estrutura é não estática. Os membros da corporação alteram-se, de acordo com a situação actual do mercado.

- Nível de estratégia

  O nível de estratégia de uma corporação identifica o modo como é conduzido o funcionamento desta. Uma corporação funciona em uma *economia de escala*, se o seu objectivo é a produção padronizada, geralmente identificada como a disponibilização de bens "standard" em grandes quantidades. Uma corporação funciona em *custo de oportunidade*, se o seu objectivo é a produção orientada ao consumidor, geralmente identificada como a disponibilização de bens não padronizados e em pequena quantidade. O factor nível de estratégia está directamente relacionado com o factor nível de desempenho.

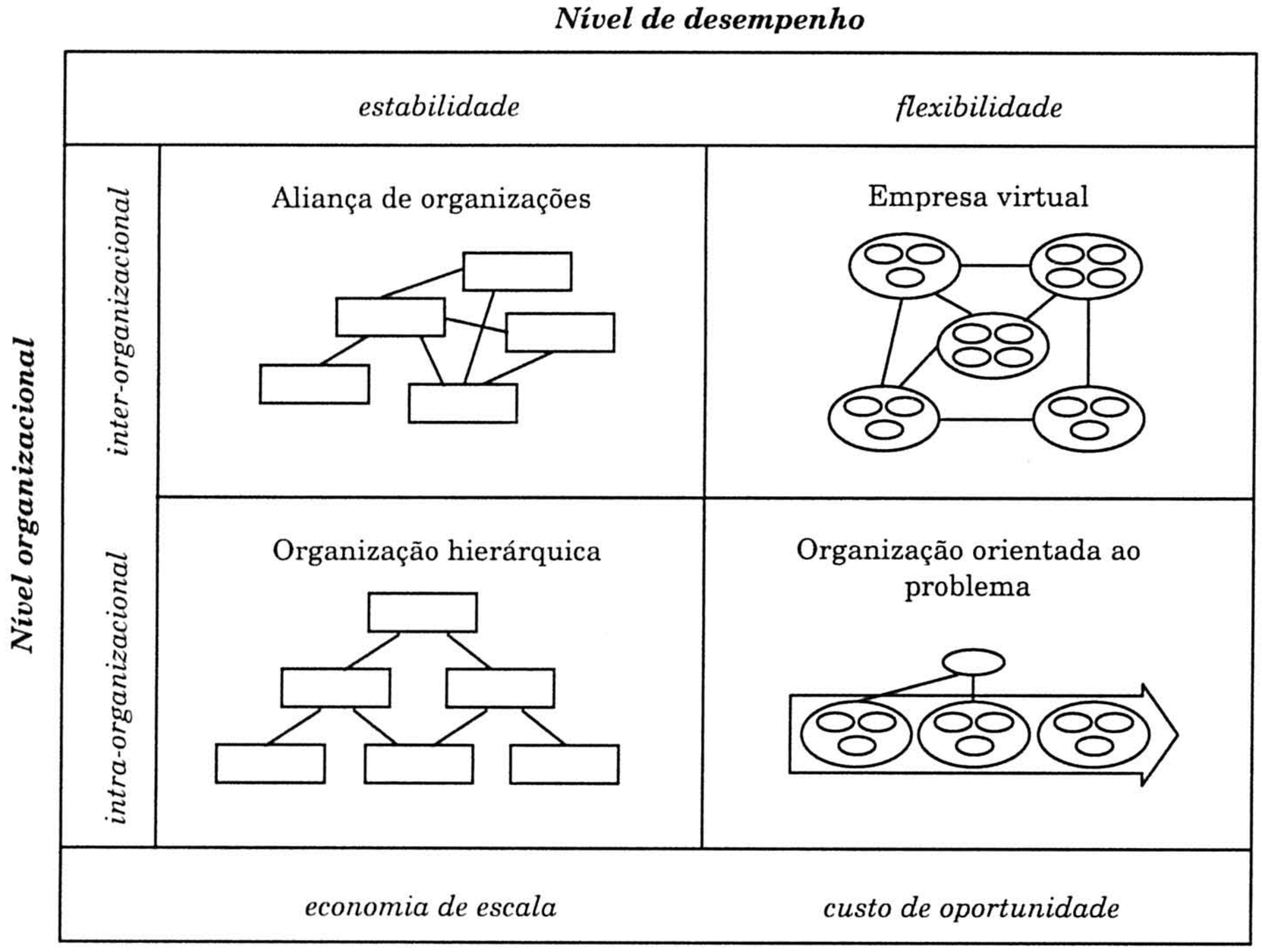


Figura 2. Perspectivas de desenvolvimento organizacional [Zimmermann, 1997]

A Empresa Virtual, é classificada, segundo este autor, e que está de acordo com o que foi anteriormente descrito, como uma corporação *inter-organizacional*, *flexível* e funcionando em regime de *custo de oportunidade*.

2.2. A perspectiva económica da Empresa Virtual

Uma transacção económica é coordenada por um de dois mecanismos básicos: mercado e hierarquia [Malone et *al*, 1987].

- Mercado

  A coordenação é guiada pelas diferentes ofertas e pedidos existentes entre participantes. Os participantes são independentes uns dos outros, anónimos, e

actuam em seu próprio interesse. As relações de negócio são geralmente de curto prazo. Interacção de forças de mercado determinam os atributos relevantes (preço, quantidade, prazo de entrega, etc) dos bens a transaccionar.

- Hierarquia

  A coordenação é guiada por uma estrutura hierárquica, existindo uma entidade autoridade no nível superior da hierarquia. A identidade dos participantes é um factor relevante. As relações são geralmente especificadas em contratos de longo prazo. As decisões de gestão determinam os atributos dos bens a transaccionar.

A estrutura organizacional para uma determinada actividade económica (mercado ou hierarquia) é seleccionada de acordo com a minimização dos *custos totais* da actividade, sendo estes decompostos em custos de produção e custos de coordenação.

- Os *custos de produção* estão relacionados com os processos primários necessários para a criação e distribuição dos bens a ser produzidos. Estes custos são mais elevados nas hierarquias. Nos mercados, a selecção é realizada entre um número elevado de parceiros, o que tipicamente favorece o decréscimo do custo, devido essencialmente ao factor competição.
- Os *custos de coordenação* incluem custos de estabelecer uma relação, custos de pesquisa e custos de transacção. Estão relacionados com a comunicação e processamento de informação necessário para a coordenação do trabalho dos elementos que executam os processos primários (selecção de fornecedores, estabelecimento de contratos, escalonamento de actividades, etc). Estes custos são mais elevados nos mercados. Contudo, porque a coordenação envolve comunicação e processamento de informação, os avanços crescentes na área da tecnologia de informação permitiram um decréscimo substancial nestes custos de coordenação. Pela redução dos custos de coordenação, a tecnologia de informação origina um deslocamento, para o uso de mecanismos de mercados em vez de hierarquias, na coordenação da actividade económica.

Entre estes dois extremos, outras formas híbridas de coordenação económica existem, baseadas essencialmente em redes de empresas. Gebauer [Gebauer, 1996] e Appel [Appel, 1997] classificam a Empresa Virtual como exibindo um mecanismo de coordenação entre a hierarquia e o mercado. As inter-relações entre os participantes são menos formais e mais limitadas temporalmente, e portanto mais flexíveis, que as relações de uma hierarquia. Por outro lado, são mais fortes que as existentes nos mercados puros. A EV combina assim o melhor dos dois mundos: flexibilidade, independência e eficiência de uma estrutura de mercado, onde as relações negociais, características de uma hierarquia, são garantidas por canais de comunicação, adaptabilidade e confiança.

O número de parceiros de negócio

É natural assumir que uma empresa beneficiará se aumentar o número possível de parceiros de negócio, incrementando assim o número de escolhas, e a possibilidade de encontrar um parceiro óptimo. Contudo, interagir com cada parceiro origina um determinado custo de coordenação. O número óptimo de parceiros deve ser determinado pela ponderação de dois factores:

- Custos de coordenação
- Benefício esperado derivado de uma escolha óptima de parceiros.

Porque o uso de tecnologia de informação conduz a uma redução dos custos de coordenação, o número de parceiros do negócio pode ser incrementado, para um mesmo valor deste custo. Contudo, verifica-se que as empresas tendem a confiar em um número reduzido de parceiros. A formalização deste compromisso é ilustrada na Figura 3, e analisada nos parágrafos seguintes [Bakos e Brynjolfsson, 1997].

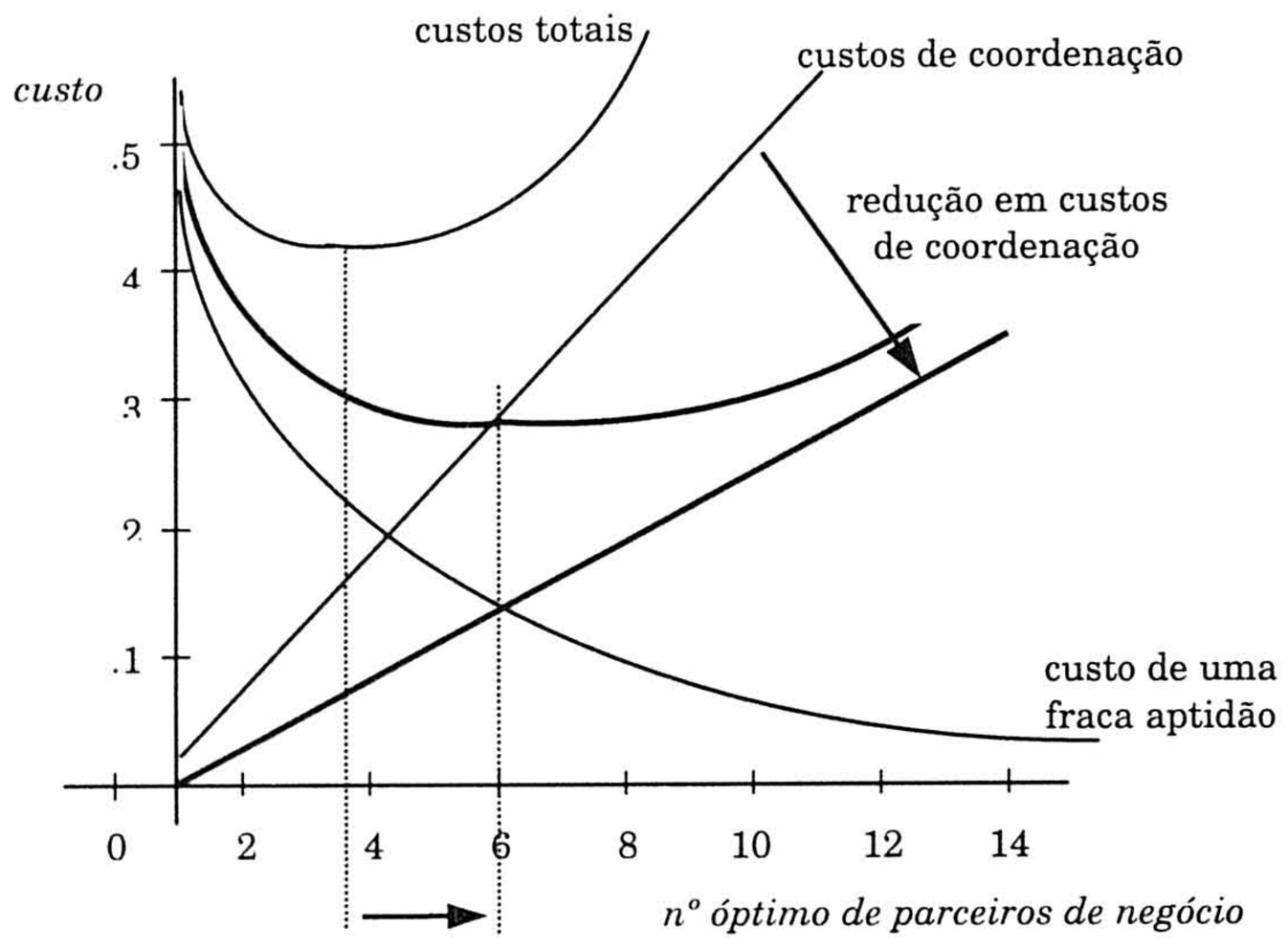


Figura 3. Efeito da redução dos custos de coordenação [Bakos e Brynjolfsson, 1997]

Por um lado, é possível que se verifique uma tendência para a existência de um número elevado de possíveis parceiros de negócio, porque a tecnologia de informação reduz os custos de coordenação. E quantos mais parceiros existirem, maior é o leque de escolhas, e maior, também, é a probabilidade de os escolhidos serem os mais competentes.

Por outro lado, a diminuição do número de parceiros implica um aumento do poder negocial de cada um dos parceiros, o que por sua vez implica um aumento da partilha dos lucros marginais dos investimentos recebidos pelos parceiros, e assim, um aumento do incentivo à priori para investir na relação quando estão em causa atributos não contraíveis (qualidade, partilha de informação, inovação). A empresa tende a limitar o número de

parceiros empregues, para os convencer de que o retorno dos seus investimentos não será expropriado após o negócio Embora um número reduzido de parceiros origine um risco de comportamento oportunista, a adopção de tecnologias de informação permite reduzir este risco, através de uma monitorização apropriada e permanente.

Como conclusão do exposto, refere-se aqui a ideia emitida por Bakos e Brynjolfsson [Bakos e Brynjolfsson, 1997] relativa ao número óptimo de possíveis parceiros de um negócio:

"Mesmo que o desenvolvimento tecnológico continue a reduzir os custos de coordenação, a necessidade de providenciar incentivos para investimentos não contraíveis irá frequentemente limitar o número de parceiros do negócio".

A mudança de Mercado para Empresa Virtual

O desejo de estabelecer relações mais fortes que as existentes nos mercados puros é um dos factores que leva ao aparecimento de Empresas Virtuais. Esta necessidade é uma realidade actual e, como exemplos, podemos indicar a colaboração de diferentes grupos na elaboração de projectos de investigação e desenvolvimento, bem como a formação de consórcios entre empresas. As razões para esta tendência são enunciadas nos pontos seguintes:

- Os custos globais são reduzidos, pelo fortalecimento das relações negociais, através da cooperação.
- O poder de diferenciação no mercado é incrementado, pois a cooperação entre empresas possibilita tanto a produção conjunta de bens originais e adaptados ao consumidor, como de bens substitutos.
- Uma estrutura organizacional cooperativa geralmente implica um acréscimo nos requisitos infraestruturais e de coordenação, e consequentemente nos custos relacionados. Contudo, estes custos tendem a decrescer com o uso das novas tecnologias de informação.

A mudança de Hierarquia para Empresa Virtual

A divisão de uma hierarquia em unidades autónomas pode originar o surgimento da Empresa Virtual. A utilização de serviços externos por parte de uma organização ("outsourcing") é um exemplo de como a hierarquia está a tender para a EV. As razões para esta tendência podem ser enunciadas nos pontos seguintes

- Maior eficácia na resposta às alterações de requisitos do consumidor, porque as unidades organizacionais são independentes.
- A eficiência é incrementada, por especialização em competências principais.

2.3. Conceito de Empresa Virtual

Devido à alteração da situação de mercado bem como à crescente especialização em segmentos de mercado individuais, as empresas são colocadas em um nível de competição crescente. Este facto fomenta a necessidade de formação de corporações. O estabelecimento de acordos cooperativos entre empresas não é um fenómeno novo. Mas o uso de tecnologias de comunicação e informação para suportar a cooperação dinâmica e a possibilidade de modificação da configuração de uma empresa, é sim, um factor novo e exigido em virtude da competitividade crescente do mercado.

O fornecimento de bens a uma escala mundial, a globalização dos mercados e as expectativas cada vez mais crescentes dos consumidores, colocam exigências cada vez mais fortes às empresas. À medida que a competição se torna mais intensa, as empresas necessitam reagir mais rapidamente às alterações do mercado económico, incluindo os competidores.

A Empresa Virtual é uma nova forma de organização que surgiu como consequência das possibilidades que oferecem as novas tecnologias de comunicação e informação em relação à forma como o trabalho se pode organizar. Surgiu como uma resposta às exigências crescentes do mercado, em termos de flexibilidade de resposta, redução de custos e aumento de qualidade dos produtos ou serviços existentes.

A Empresa Virtual é um exemplo específico de uma organização em rede. A EV pode ser vista como uma rede onde os nós são empresas com competência em uma determinada área de conhecimento. Cada um dos nós da rede concentra-se na redução dos seus processos de negócio às suas competências principais, deixando outras funções para ser executadas por outros nós. Esta focalização em um produto ou serviço particular permite a maximização de competitividade e lucro.

O adjectivo *virtual* caracteriza a propriedade de um objecto que não existe realmente, mas parece existir. Aplicado a uma empresa, isto significa que a empresa não existe realmente como empresa (antes é uma entidade cooperativa de empresas independentes), mas aparece como tal aos olhos do cliente.

O conceito de EV pode ser facilmente explicável pela comparação com a arquitectura de memória de um sistema computacional [Zimmermann, 1997]. Não é economicamente viável fornecer recursos de memória principal suficientes para todos os requisitos de qualquer programa. A solução é a utilização de uma memória virtual que funciona como uma memória lógica, usando a dispendiosa e limitada memória local e também a memória secundária disponível. Através da atribuição dinâmica da memória principal real é possível atender a pedidos extensos assim como pedidos simultâneos. Neste exemplo, é possível verificar a afectação dinâmica e flexível de requisitos.

A definição de Empresa Virtual varia de autor para autor, sendo contudo aceite por todos eles que se trata de uma estrutura organizacional constituída por uma *rede de empresas*

independentes. Por empresa independente entende-se esta ser capaz de subsistir por si só, isto é, trata-se de uma entidade autónoma que possui os seus próprios meios de gestão e actividade. A sua inclusão em um consórcio deriva do facto de, em conjunto com outras empresas, ser capaz de fornecer produtos e/ou serviços de maior complexidade, de qualidade superior ou a custos mais reduzidos. Outras palavras-chave mais utilizadas na definição de uma Empresa Virtual são as seguintes:

- ***Carácter temporal***

  A EV surge como consequência da necessidade de satisfação de um pedido do consumidor. A sua existência está limitada ao período de tempo que é necessário para satisfazer tal pedido, após o que é dissolvida.

- ***Partilha de competências, custos e recursos***

  A EV partilha os recursos, custos, e lucros entre as empresas constituintes. Cada empresa individual tem acesso a um maior número de recursos especializados, quando está inserida em uma EV.

- ***Flexibilidade***

  As alterações de requisitos qualitativos e quantitativos do mercado e a forte orientação ao consumidor, conduz à individualização de produtos e serviços. Uma das características mais inovadoras da EV é a sua capacidade de se ajustar ao mercado sempre que necessário. A EV forma-se e configura-se rapidamente, ajustando-se às necessidades próprias do consumidor ou oportunidades específicas do mercado. É possível adicionar, eliminar ou substituir fácil e rapidamente membros da EV.

- ***Baseada em tecnologia de informação e comunicação***

  A Empresa Virtual assenta em tecnologia de informação apropriada para ligação de empresas, pessoas e recursos heterogéneos e geograficamente distribuídos.

  É essencial para a EV que seja suportada a estrutura de trabalho em rede. Todos os participantes da EV se encontram ligados através de tecnologias de informação e comunicação, o que lhes permite trabalhar em conjunto de uma forma segura e transparente.

- ***Excelência***

  Os membros individuais concentram-se nas suas principais competências, e seguem a estratégia de "outsourcing" quando necessário. Mantêm a sua autonomia e continuam a desenvolver os seus nichos de competências. A EV comporta a junção de múltiplas competências principais, transformando-se assim numa empresa de excelência.

- ***Divisão igual de poder***

  A Empresa Virtual não é controlada por qualquer instância central. As empresas individuais que constituem a EV são entidades autónomas, o controlo é distribuído, e todas participam igualmente, quer na divisão de trabalho, quer na divisão de poder.

A inclusão destas várias características na definição de Empresa Virtual, por parte de diferentes autores, é ilustrada na Tabela 1.

	carácter temporal	*partilha competências, custos e recursos*	*flexibilidade*	*tecnologia informação e comunicação*	*excelência*	*divisão igual de poder*
[Amberg, 1997]	√		√		√	
[Arnold *et al.*, 1995]				√	√	
[Byrne *et al.*, 1993]	√	√				
[Camarinha e Afsarmanesh, 1999a]	√	√		√	√	
[Cole e Gamble, 1997]				√		
[Hardwick e Spooner, 1998]		√	√			
[Jagers *et al.*, 1998]				√	√	√
[NIIIP, 1998]	√	√				
[Ott e Nastansky, 1997]		√	√	√	√	
[Reid *et al.*, 1996]	√					
[Sims, 1996]	√					
[Sriram e Candadai, 1996]			√			

Tabela 1. Definição de Empresa Virtual (vários autores)

De entre todas as definições de Empresa Virtual, a mais consensual é a apresentada por Arnold [Arnold *et al.*, 1995] e referida em [Burckert *et al.*, 1999] e [Fischer *et al.*, 1996], que a seguir se transcreve:

"Empresa Virtual é uma corporação de empresas, instituições ou indivíduos legalmente independentes que, em conjunto, fornecem um serviço com base em um entendimento comum do negócio. As unidades cooperativas contribuem com as suas competências principais e externamente actuam como uma única corporação. A corporação recusa qualquer institucionalização, isto é, não existe controlo centralizado; em vez disso, a corporação é gerida pelo uso de tecnologias de informação e comunicação adequadas".

2.4. Caracterização da Empresa Virtual

À definição apresentada na secção anterior, podemos acrescentar o facto de que a Empresa Virtual apenas existe por um período de tempo limitado, que é o tempo necessário à realização do objectivo que originou a sua criação. A definição que adoptamos para uma EV é então a descrita no parágrafo seguinte.

> *A Empresa Virtual é uma agregação de empresas independentes e autónomas ligadas através de uma rede de comunicações (possivelmente uma rede pública como a Internet), que surge para a disponibilização de um produto ou serviço em resposta a uma necessidade do mercado. A gestão da EV é suportada pelo uso de tecnologia de informação e comunicação. A EV existe por um período de tempo limitado, que é o tempo necessário para satisfazer o seu propósito. A agregação de diversas organizações é vantajosa no sentido em que reduz a complexidade e, mais importante ainda, permite uma resposta rápida a alterações de requisitos.* [Rocha e Oliveira, 1999]

Um factor importante a realçar é o facto de que os membros de uma EV não são necessariamente empresas na sua totalidade, mas podem ser apenas módulos de empresas representativos da área de competência requerida pela EV (ver Figura 4).

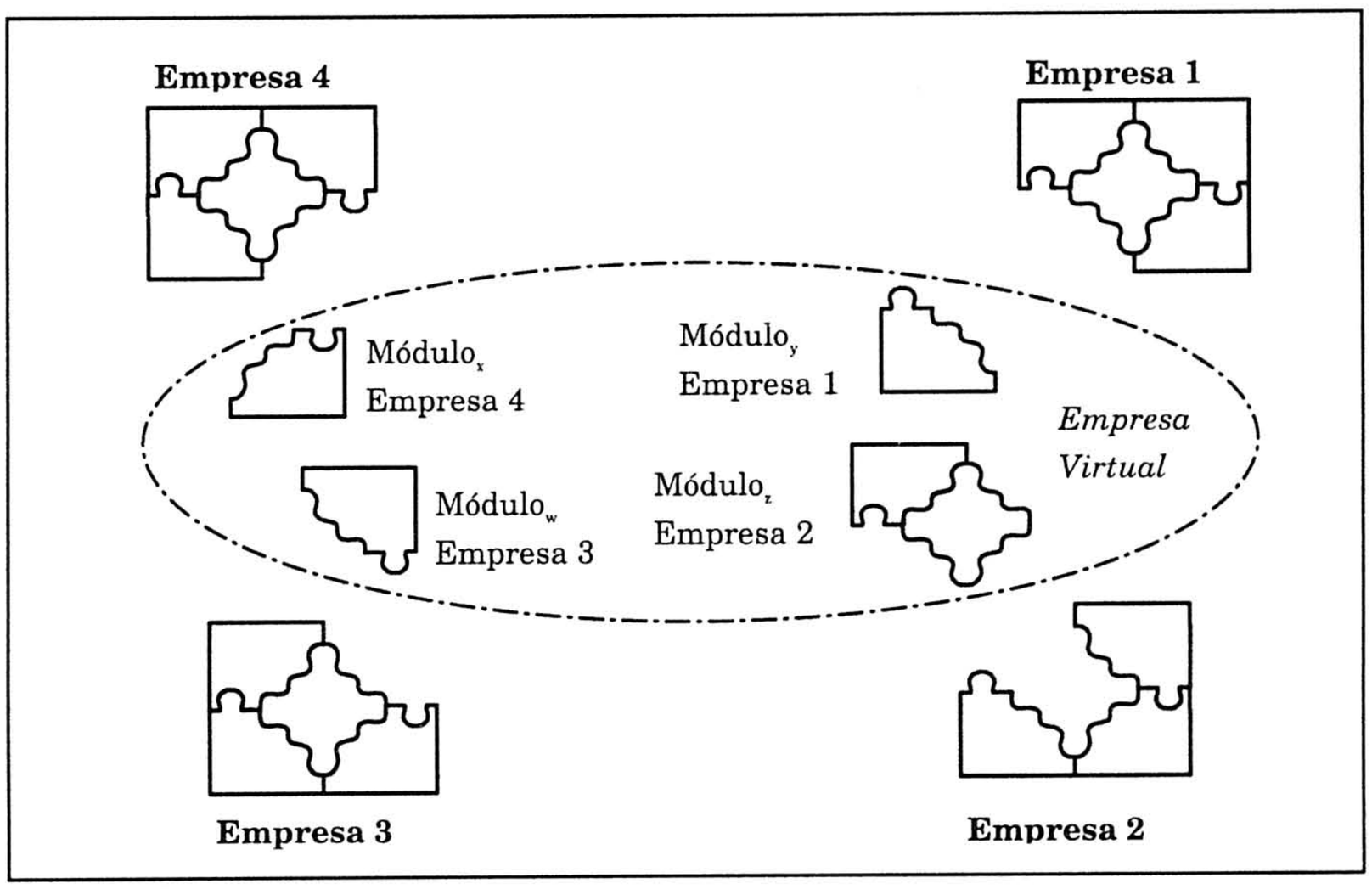


Figura 4. Empresa Virtual

A Empresa Virtual é uma rede de empresas, mas a existência de uma rede de empresas, por si só, não origina uma Empresa Virtual. Na literatura são identificadas múltiplas estruturas organizacionais que apresentam uma configuração em rede, e que são muitas vezes confundidas com o conceito de EV.

A figura seguinte (Figura 5) enumera as diferentes estruturas organizacionais em rede, vistas por diferentes autores, e apresenta ainda uma decomposição da própria estrutura de EV. O objectivo da inclusão desta figura é permitir uma leitura mais clara da exposição que é feita a seguir, onde são descritas individualmente cada uma destas estruturas.

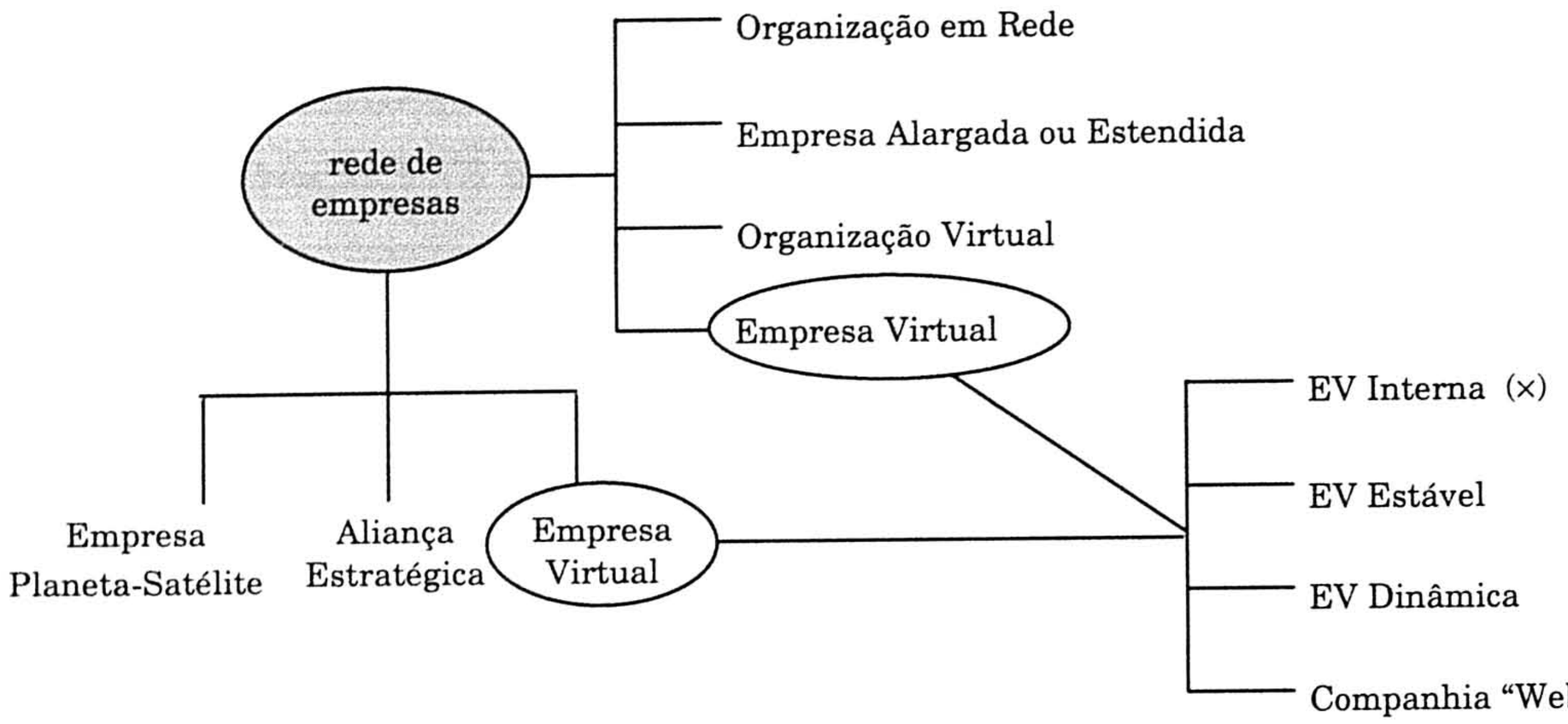


Figura 5. Rede de empresas e Empresa Virtual

As estruturas organizacionais que apresentam uma configuração em rede são classificadas por Camarinha e Afsarmanesh [Camarinha e Afsarmanesh, 1999a] em: *Empresa Virtual*, *Empresa Alargada*, *Organização Virtual* e *Organização em Rede*:

- ***Empresa Virtual***

  Segue a definição referida no início desta secção. Os membros da Empresa Virtual são obrigatoriamente empresas, isto é, entidades com fins lucrativos.

- ***Empresa Alargada ou Estendida***

  Rede de empresas onde uma empresa é a dominante, e "alarga" as suas fronteiras a um ou vários fornecedores. A Empresa Virtual pode ser vista como um conceito mais geral desta estrutura, onde nenhuma empresa participante possui, geralmente, a função de empresa dominante, e a cooperação é realizada numa base de igualdade. A Empresa Alargada é um caso particular da Empresa Virtual.

- ***Organização Virtual***

  Os participantes não são apenas empresas, mas qualquer tipo de organização. Por organização entende-se uma entidade com ou sem fins lucrativos (exemplos: câmara municipal, biblioteca ou lares municipais). A Empresa Virtual é um caso particular da Organização Virtual.

- ***Organização em Rede***

  Termo geral que se refere a um conjunto de organizações ligadas entre si por uma rede computacional, mas que não partilham necessariamente competências ou recursos, ou possuem um objectivo comum. Engloba todas as estruturas organizacionais em que as entidades participantes se encontram dispostas em rede.

Ainda uma outra decomposição relativa à estrutura organizacional representada por uma rede de empresas é identificada por Jagers [Jagers *et al.*, 1998]. Este autor classifica uma rede de empresas, de acordo com o nível de incerteza e o nível de dependência mútua em três classes: *Empresas Planeta-Satélite*, *Aliança Estratégica* e *Empresas Virtuais*. Por nível de incerteza entende-se o grau de incerteza que as empresas encontram quando iniciam relações mútuas. Por nível de dependência mútua entende-se a possibilidade de a empresa existir por si só.

- ***Empresas Planeta-Satélite***

  A empresa planeta é a empresa dominante na rede, e encontra-se rodeada de empresas denominadas satélites, que são subcontratadas pela primeira. A empresa dominante (planeta) tem o poder de determinar as especificações, quantidades e demais atributos para os produtos ou serviços fornecidos pelas empresas satélites. Nesta estrutura, a incerteza é reduzida pela existência de contratos claros. O nível de dependência mútuo é muito baixo, pois as empresas possuem geralmente fontes de poder tradicionais próprias.

- ***Aliança Estratégica***

  As diversas empresas que compõem a aliança possuem um interesse no sucesso umas das outras. As empresas estão inseridas em uma relação recíproca, onde os parceiros se tornam dependentes uns dos outros como consequência de actividades pré-combinadas.

- ***Empresa Virtual***

  Na Empresa Virtual, a incerteza não é diminuída pela regulamentação dos processos ou outra forma de controlo, mas sim através da junção e exploração em comum de conhecimento e informação. O nível de dependência mútua entre parceiros é elevado, e o produto final não pode ser realizado sem os métodos e competências oferecidos pela parceria.

Relativamente à tipologia que uma Empresa Virtual pode apresentar, esta é definida em [Bultje e Wijk, 1998], referindo-se a [Campbell, 1997] do seguinte modo:

- ***Empresa Virtual Interna***

  Organização única que opera com equipas internas. Consiste em múltiplas entidades de negócio, que existem como equipas autónomas. As tarefas de gestão são geralmente suportadas de uma forma descentralizada por equipas autónomas. Embora esta estrutura organizacional seja considerada por estes autores como um tipo de Empresa Virtual, tal não é o nosso entendimento. De acordo com a definição de EV apresentada anteriormente, esta é obrigatoriamente constituída por uma rede de empresas independentes, o que não se verifica neste caso. Esta estrutura, aqui designada de EV Interna, é a que Zimmermann [Zimmermann, 1997] designa de *"Organização orientada ao problema"* (ver Figura 2), e que por vezes é também

denominada de *empresa ágil* (ver subsecção seguinte).

- ***Empresa Virtual Estável***

  Baseada na cooperação entre organizações diferentes. O objectivo é a contratação, por parte de uma organização principal, de competências não principais exteriores a esta. A organização principal dita as regras da cooperação.

- ***Empresa Virtual Dinâmica***

  Cooperação, a uma larga escala, com outras organizações. As relações com estas outras organizações são baseadas em oportunismo, e só se concretizam quando ocorrem certos incentivos do mercado. São corporações temporárias, e os parceiros são geralmente organizações de pequena dimensão. Não existe nenhum parceiro principal, a liderança é partilhada.

- ***Companhia "Web"***

  É uma rede temporária de organizações especialistas, baseada no uso da Internet. É idêntica a uma EV dinâmica, com a diferença de que a companhia "web" é totalmente baseada em tecnologia de informação.

Na Figura 6 procura-se sintetizar e clarificar estas múltiplas categorizações, relacionando-as e colocando as diferentes estruturas organizacionais em um único plano de classificação.

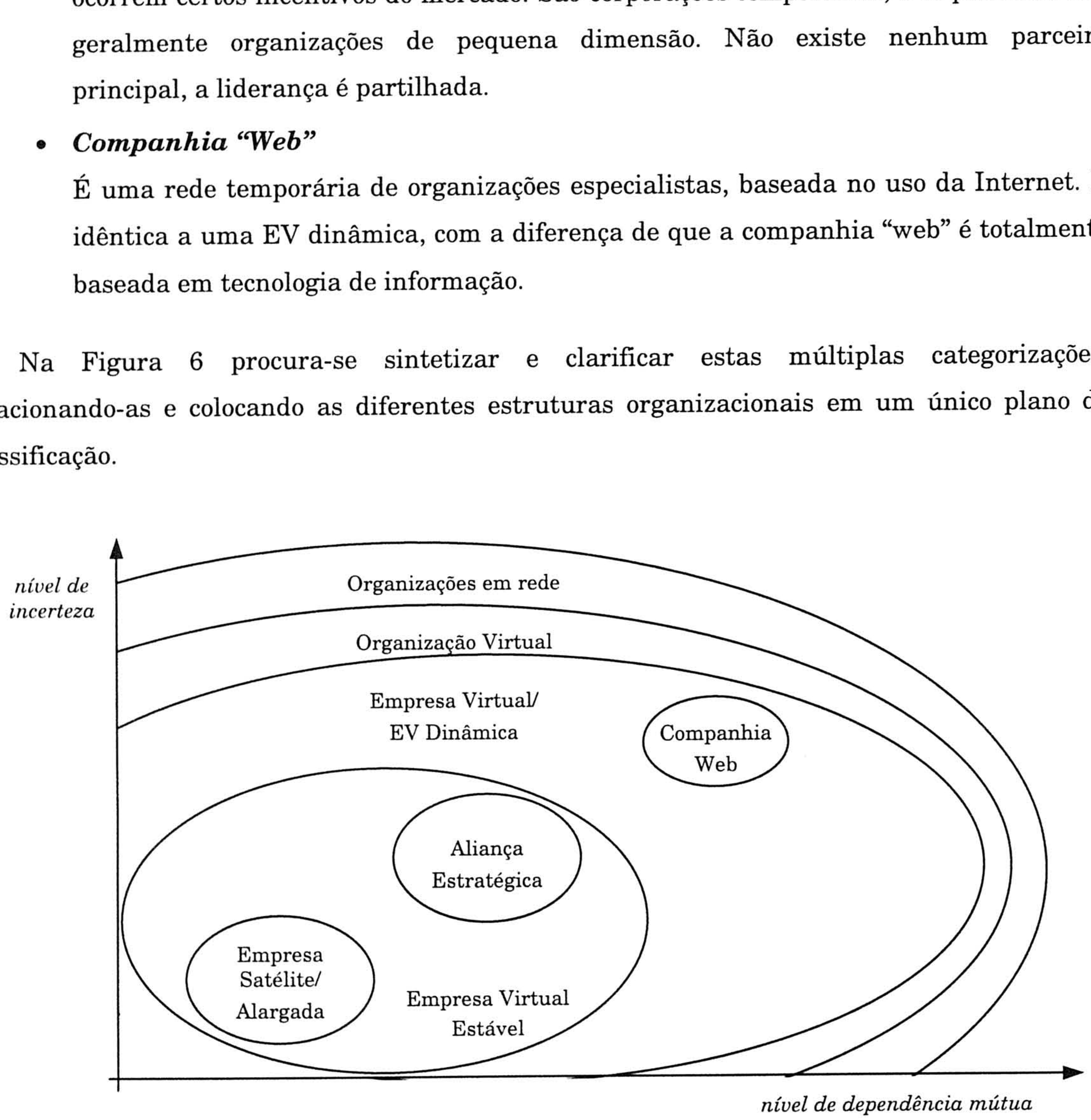


Figura 6. Estruturas organizacionais de configuração em rede

Empresa ágil

Convém ainda fazer aqui a distinção entre Empresa Virtual e empresa ágil, porque são termos muito frequentemente utilizados na literatura, e por vezes, erradamente, são usados indiferentemente. A agilidade é a capacidade de (re)configurar de forma dinâmica os processos ou actividades que conduzem à realização de um bem final. A empresa ágil, em resposta ao surgimento de uma nova necessidade ou irregularidade que afecta um processo actualmente em execução, é capaz de configurar ou reconfigurar de forma dinâmica esse mesmo processo de modo a responder a estes novos e inesperados requisitos. A Empresa Virtual possui a característica de agilidade. Contudo, a empresa ágil não é, necessariamente, uma Empresa Virtual.

Uma *empresa ágil* é formada por um conjunto de equipas independentes que pertencem a uma mesma empresa; não é uma rede de empresas, como é o caso da EV. A empresa ágil é a estrutura organizacional que na Figura 2 é designada por *"Organização orientada ao problema"*.

2.5. Estrutura e Organização de uma Empresa Virtual

A Empresa Virtual principia a sua existência quando múltiplas empresas distintas detectam ser útil o estabelecimento de uma corporação para satisfação de uma necessidade específica do mercado e chegaram a um acordo para tal efeito. A EV termina a sua actividade quando tais necessidade e acordo deixam de existir.

Vários autores apresentam resultados distintos para o número de fases do ciclo de vida de uma EV [Camarinha e Afsarmanesh, 1999a], [Faisst, 1997], [Parunak, 1997], [Reid *et al.*, 1996], [Zimmermann, 1997] (ver Tabela 2).

Fases do Ciclo de Vida						
Autores	*[Camarinha e Afsarmanesh, 1999a]*	*[Faisst, 1997]*	*[Parunak, 1997]*	*[Reid et al, 1996]*	*[Rocha e Oliveira, 1999]*	*[Zimmermann, 1997]*
	Criação	Identificação	Construção	Concepção	Identificação	Pesquisa
		Formação		Criação	Selecção de parceiros	Contratação
				Competição		
		Projecto		Configuração		
	Operação	Operação	Operação	Condução	Operação	Operação
	Evolução					
	Dissolução	Dissolução	Dissolução	Conclusão	Dissolução	Dissolução

Tabela 2. Ciclo de vida da Empresa Virtual (vários autores)

Embora o número de fases seja distinto de autor para autor, a sua divisão não é tão distinta quanto possa parecer inicialmente, pois estas várias fases encaixam perfeitamente. Na tentativa de combinar todos estes estudos, é adoptada a divisão para o ciclo de vida de uma Empresa Virtual em quatro fases distintas: *identificação da necessidade*, *selecção de parceiros*, *operação* e *dissolução* [Rocha e Oliveira, 1999]. Esta análise é apresentada na Tabela 2, e as secções seguintes descrevem cada uma dessas fases em detalhe.

2.5.1. Identificação da necessidade

A decisão de formar uma Empresa Virtual depende da necessidade de satisfação de um requisito do mercado, e é geralmente atribuída a expectativas demonstradas por um cliente. A EV só existirá quando se verificar tal necessidade, sendo então estabelecido um objectivo que origina a consequente criação do projecto conceptual de uma nova empresa.

A fase de identificação da necessidade, pode ser decomposta em duas subfases:

- Especificação do objectivo
- Decomposição do objectivo

  O objectivo inicial é dividido em processos parciais, que, quando integrados, o satisfaçam. Esta decomposição resulta de uma obrigatoriedade, porque o objectivo inicial é demasiado complexo; ou de uma opção, porque é mais eficiente e menos custoso resolver problemas de menor dimensão e maior focalização.

2.5.2. Selecção de parceiros

Após estabelecer e anunciar o propósito da Empresa Virtual, é necessário seleccionar os potenciais membros desta. Esta fase consiste na pesquisa e selecção das empresas individuais que irão constituir a EV. Esta selecção resulta necessariamente de uma ponderação de múltiplos atributos que eventuais empresas deverão possuir: competência na área, capacidade, qualidade, reputação, etc. Após a selecção como membro da EV, uma empresa estabelece um acordo que fica obrigada a cumprir, incondicionalmente ou sob determinadas condições agora acordadas.

A fase de selecção de parceiros, pode ser decomposta nas subfases seguintes:

- Identificação de potenciais parceiros
- Geração de correspondências alternativas de parceiros a processos parciais
- Selecção dos parceiros

Relativamente a esta tarefa de selecção de parceiros a incluir em empresas virtuais, refere-se, nos parágrafos seguintes, e a título exemplificativo, dois estudos realizados por dois conjuntos distintos de autores.

Fischer *et al.* [Fischer *et al.*, 1996] consideram viável a existência de um gestor de produto que coordena a selecção de parceiros e a afectação destes a processos parciais, através de mecanismos de leilão. Aqui, o objectivo da Empresa Virtual é a obtenção de um produto (ou combinação de subprodutos), e o gestor de produto desempenha o papel de leiloeiro. O leiloeiro anuncia diferentes processos parciais a ser executados (subprodutos), e as empresas individuais enviam propostas para a realização de tais processos parciais. A selecção da melhor proposta é uma decisão multi-critério, sendo o leiloeiro quem determina quais são os critérios considerados relevantes. O leiloeiro irá recolher as propostas recebidas, e calcular a melhor proposta de acordo com o seu critério de selecção.

Gupta e Nagi [Gupta e Nagi, 1995] realizam a selecção de parceiros em um ambiente de manufactura através de algoritmos genéticos, usando uma combinação de informação quantitativa e informação qualitativa "fuzzy". Os parceiros são seleccionados, de entre os que demonstram habilidade de satisfação de determinado processo fabril, de acordo com os seguintes atributos: custo, qualidade, tempo de início e custo de transporte entre recursos (máquinas que realizam as subtarefas). É possível realizar julgamentos verbais sobre a utilidade destes atributos, utilizando linguagem natural, que é posteriormente convertida em conjuntos "fuzzy" compostos de possíveis valores numéricos representativos do interesse do atributo. São usados cinco níveis para explicitar o interesse de um atributo: extremamente importante, muito importante, importante, razoavelmente importante, não importante. Esta informação é combinada com dados já existentes na história armazenada ou estatisticamente obtidos.

2.5.3. Operação

As funções a realizar nesta fase incluem, quer o suporte ao funcionamento da Empresa Virtual, quer a verificação do seu correcto desempenho. Os acordos estabelecidos na fase anterior devem ser permanentemente revistos. Caso se verifique o não cumprimento desses acordos durante a operação da EV, as empresas individuais devem reorganizar-se, ou procurar novos parceiros, de modo a garantir que o objectivo global seja satisfeito. Nesta fase, a existência de um agente moderador, que possui a função de conselheiro ou resolvente de problemas, é vista, por muitos autores, como uma solução apropriada.

As funcionalidades a incluir na fase de operação da EV podem ser sumariadas nos pontos seguintes [Camarinha e Afsarmanesh, 1999a]:

- Interacção de troca de informação básica
  - Devem ser garantidos os mecanismos de troca de informação relativa a: dados comerciais (informação relacionada com contratos), dados técnicos (modelos de produtos e qualidade), informação geral (estatísticas de mercado, catálogo de produtos e serviços).

- Deve ser garantida a interoperabilidade entre standards: como membro da EV, uma empresa tem de ser capaz de receber, interpretar e gerar mensagens originárias de outras empresas.
- Deve ser possível reconfigurar a EV, quando necessário. Durante a operação da EV muitas mudanças podem ocorrer, tais como substituição de parceiros, alteração de especificações de verificação, direitos de acesso, etc.

- Tratamento de eventos e excepções

  É necessário verificar permanentemente o estado das múltiplas tarefas, presentes neste processo de negócio distribuído. No caso de uma empresa falhar no cumprimento dos seus deveres, a EV deve ser reconfigurada, por substituição da empresa que falhou por uma outra.

- Fluxo de produtos e serviços

  É necessário garantir o suporte de funcionalidades necessárias para representar e verificar o fluxo de produtos e serviços através da rede que constitui a EV.

2.5.4. Dissolução

Após a satisfação dos seus objectivos, a Empresa Virtual deixa de fazer sentido, e dissolve-se. As empresas individuais continuam, obviamente, a existir, mas a EV vista como a colaboração dessas empresas termina a sua existência. A dissolução da EV implica o arquivo e distribuição pelos vários membros da informação relativa à missão agora concluída; e também a distribuição dos lucros obtidos.

2.6. Sistemas de Empresas Virtuais

Nesta secção é realizada uma exposição de alguns modelos e sistemas computacionais para Empresas Virtuais, sendo identificadas as suas principais características. Em particular, é analisada a cobertura das diferentes fases do ciclo de vida de uma EV por cada um desses sistemas. No final da secção, é elaborada uma análise comparativa dos vários sistemas apresentados.

A descrição de alguns dos sistemas aqui referidos não incluem quaisquer pormenores técnicos, devido ao facto de, não sendo estes académicos, não se conhecer os seus detalhes de implementação.

2.6.1. Apresentação de alguns sistemas de Empresas Virtuais

AIMSNet

Este projecto foi realizado pelo laboratório de investigação "Lockheed Martin Missiles and Space", Palo Alto, Califórnia em colaboração com o laboratório de investigação da Força Aérea dos Estados Unidos. O objectivo do sistema proposto é permitir responder rapidamente, com soluções não padronizadas, a requisitos de um consumidor de qualquer magnitude. Suporta a rápida (re)configuração de redes ágeis de fornecedores.

A arquitectura desenvolvida assenta na implementação de uma rede dinâmica de clientes e fornecedores, denominada AIMSNet [Sriram e Candadai, 1996]. Esta rede permite a partilha de recursos por parte de empresas complementares que em conjunto formam a Empresa Virtual responsável pela disponibilização de determinado produto ou serviço. O objectivo é o suporte da rápida organização e operação de redes de fornecedores que conseguem responder eficientemente aos pedidos do consumidor com produtos ou serviços de alta qualidade. Esta arquitectura disponibiliza ainda um conjunto de práticas negociais que facilitam a formação e operação da EV. As capacidades funcionais disponibilizadas por AIMSNet são:

- Serviços de colaboração. Permite a colaboração entre membros da empresa, apesar da separação geográfica e temporal. Utiliza agendas, disponibilizando ferramentas para pesquisa, navegação e notificação (colaboração formal). Listas de mensagens, e locais de conversação, permitem discussões informais entre os membros do projecto.
- Catálogos de fornecedores e serviços de pesquisa. Os catálogos de fornecedores são implementados como uma colecção de fontes de dados distribuídos que obedecem a uma ontologia específica, e guardam informação crítica sobre estes fornecedores. É disponibilizado um serviço de pesquisa para selecção de potenciais parceiros que irão competir para se tornar membros da EV.
- Serviços de aquisição inteligentes. Permite ao utilizador realizar actividades importantes da EV incluindo geração, colaboração em, e resposta a pedidos de propostas, contratos legais e acordos. AIMSNet protege a privacidade da informação contida nestes documentos, e assegura que estes são enviados aos utilizadores apropriados, usando mecanismos de segurança apropriados.
- Assinatura de acordo de trabalho e contratação. Fornece ferramentas e mecanismos que suportam a rápida criação de todos os documentos legais e formais necessários para a criação da EV.
- Gestão do fluxo de fornecimento e serviços de coordenação. Ferramenta que possibilita a obtenção de informação sobre eventos comuns, durante a operação da EV, e que afectam a cadeia de fornecimento. Fornece um sistema de alarme e mensagens baseadas nestes eventos.

A sequência das actividades presentes em um processo de negócio são apresentadas, ordenadamente, nos pontos seguintes:

- Os fornecedores registam-se como membros do AIMSNet, e introduzem a informação relativa às suas capacidades no Catálogo de Fornecedores.
- O cliente efectua uma pesquisa através do Catálogo de Fornecedores para identificação daqueles fornecedores que têm capacidade de produzir o que é requerido. Estes são colocados em uma Lista de Fornecedores.
- O cliente cria e envia um pedido de propostas para a Área de Projecto. Isto envolve a criação de um documento de Termos e Condições, o preenchimento de um formulário para pedido de propostas, e toda a documentação associada (desenhos CAD, especificações,....). O pedido de propostas é então tornado acessível aos fornecedores na lista anteriormente criada. Os fornecedores da lista recebem o pedido, formulam as suas propostas e realizam a sua submissão. O cliente recebe estas respostas e escolhe o fornecedor que melhores condições lhe oferece.
- É estabelecido um contrato entre o cliente e o fornecedor.
- É realizada uma análise da produtividade pelos Serviços Colaborativos, para disponibilização em um historial e posterior análise estatística.

Este sistema computacional cobre a fase de selecção de parceiros e a fase de operação da EV. A selecção de fornecedores, por parte de um cliente, é realizada de forma não automática. O sistema apenas fornece ao cliente indicação dos fornecedores, existentes em um catálogo, que possuem capacidade para o satisfazer. Não fornece qualquer tipo de ajuda na selecção do(s) melhor(es) fornecedor(es).

ARTOR

ARTOR ("ARTificial ORGanizations") [Shmeil, 1999], [Shmeil e Oliveira, 1997] realiza a modelação computacional do comportamento de organizações, focando essencialmente o processo de selecção que conduz ao estabelecimento de contratos entre organizações. Uma organização é modelada por um agente de "software", que é na realidade constituído por dois subagentes: o administrador e o executor; e dois módulos de conhecimento: o conhecimento individual e o conhecimento corporativo. O subagente administrador é responsável pelo planeamento e coordenação de acções, e pela comunicação com os outros agentes do sistema. O subagente executor é responsável pela execução das tarefas locais. O conhecimento corporativo é criado e actualizado ao longo do tempo, pela interacção com todos os outros agentes.

A selecção da organização a contratar é realizada com base em um processo de negociação iterativa, onde organizador e possíveis respondentes trocam entre si propostas e contra-propostas. Quando é verificada a necessidade de obtenção de um determinado bem ou serviço, uma organização emite um anúncio que contém a lista de critérios a que deve obedecer

qualquer proposta a ser enviada pelas outras organizações para fornecimento desse bem. A geração de propostas e contra-propostas, que constitui o processo de negociação, é realizada por cada uma das organizações envolvidas com base em um estilo próprio, e biblioteca de estratégias e tácticas. O estilo de uma organização refere-se ao perfil dessa organização e pode ser de dois tipos: "*win/win*" – organização do tipo cooperativo, e "*win/lose*" – organização do tipo competitivo. As estratégias e tácticas são seleccionadas ao longo da negociação, de acordo com os objectivos da organização e o conhecimento que possui actualmente sobre o sistema visto na sua globalidade (isto é, o conhecimento corporativo).

Este sistema cobre a fase de selecção de parceiros.

CIIMPLEX

CIIMPLEX ("Consortium for Intelligent Integrated Manufacturing Planning-Execution") [Peng *et al.*, 1998] possui como objectivo o desenvolvimento de tecnologias para a integração inteligente em empresas de planeamento e execução para manufactura. CIIMPLEX usa tecnologia de agentes inteligentes, que comunicam entre si através da linguagem KQML. Este sistema realiza a gestão de manufactura, incluindo a verificação das actividades fabris. A empresa é constituída por equipas independentes que trabalham em conjunto. Uma equipa define os eventos que são relevantes para si, e o sistema constrói agentes cuja função é verificar a ocorrência de tais eventos. Quando os eventos realmente acontecem, as equipas correspondentes são notificadas.

Não se trata realmente de uma Empresa Virtual, mas sim de uma empresa ágil. Este sistema cobre apenas a fase de operação da empresa.

Crossflow

Crossflow ("Contract-based Cross-Organisational Workflows") [Ludwig e Hoffner, 1999] suporta a gestão de fluxo de trabalho em diferentes organizações com o objectivo de gerir processos inter-organizacionais integrados. A cooperação é baseada em uma contratação dinâmica de serviços externos que é especificada em contratos electrónicos. Quer isto dizer que, uma organização (consumidor) que necessita de determinado serviço, nomeia uma outra organização (fornecedor) que seja capaz de oferecer tal serviço. A decisão de recorrer a um serviço externo é tomada durante a execução do processo, e o fornecedor é seleccionado de forma dinâmica.

A selecção de parceiros de negócio é executada através de um processo de correspondência. Os fornecedores de serviços anunciam os seus serviços num denominado Local de Serviços do Mercado. Os consumidores que necessitam de algum serviço questionam este local para o serviço que pretendem, e seleccionam o fornecedor que melhor preenche os seus requisitos. Os serviços são descritos em função de: identificação do serviço, escalonamento, verificação, pontos de controlo, e preço.

O contrato é a base para a realização de parcerias dinâmicas. Contratos modelo parcialmente definidos são usados pelos fornecedores de serviços para publicitar os seus serviços, e pelos consumidores para pesquisar serviços. Quando é detectada uma correspondência entre requisitos do consumidor e ofertas do fornecedor, é estabelecido um contrato electrónico por preenchimento do contrato modelo. Este contrato define o serviço, direitos e obrigações de cada parceiro e o custo respectivo.

O sistema CrossFlow possui ainda mecanismos de verificação e controlo de serviços. Enquanto o serviço está a ser realizado, o consumidor pode inquirir o fornecedor sobre o seu progresso, modificar o seu plano de execução, ou abortar, tudo em concordância com o contrato. Similarmente, o fornecedor pode notificar o consumidor de qualquer problema, ou requerer a sua intervenção.

Este sistema foi simulado em dois campos de aplicação distintos: logística e seguros. Estas duas aplicações são descritas, muito brevemente, nos parágrafos seguintes.

- Logística

  Uma parte significativa do equipamento da Telecom holandesa (TELCO) é gerido por uma empresa externa (LOGIS), nomeadamente os telefones móveis. Esta empresa é responsável pela gestão do armazenamento, distribuição, entrega e pagamento de telefones móveis, com base nas ordens provenientes da Telecom. O sistema CrossFlow gere a interacção entre estas duas empresas. Neste caso, a Telecom assume o papel de consumidor, e a LOGIS o papel de fornecedor.

- Seguros

  Uma companhia de seguros (AGFIL) contrata serviços externos para tratar grande parte de reclamações relativas a seguros de automóveis, para uma cobertura mais fiável dos diferentes serviços que são necessários. Estes serviços incluem um centro de chamadas externo, uma agência de avaliadores do prejuízo e oficinas de automóveis. A interacção entre estes diferentes serviços é gerida pelo sistema CrossFlow. Note-se que as relações da companhia de seguros com o centro de chamadas são estáticas, mas algumas das relações no cenário são estabelecidas de uma forma dinâmica (caso a caso), como é o caso das oficinas de automóveis.

Este sistema cobre a fase de selecção de parceiros, e a fase de operação da EV. Na fase de selecção de parceiros, o sistema é responsável pela descoberta de quais fornecedores satisfazem quais compradores. Contudo, esta correspondência é realizada apenas com base na correspondência entre ofertas e pedidos, não sendo realizado qualquer tipo de optimização neste processo de selecção.

DEM

DEM ("Data Exchange and Management") [Aagedal e Oldevik, 1997] é uma arquitectura que suporta a partilha de informação entre entidades distribuídas. Este sistema fornece os meios pelos quais a informação é disponibilizada e acedida de forma segura pelas múltiplas empresas que constituem a EV.

A informação que cada empresa contém é incluída em bases de dados comuns, mas não a totalidade dessa informação, apenas uma descrição desta e um apontador para a informação real.

A informação é guardada em sistemas ou bases de dados, onde cada item de informação está representado por um "objecto de informação" que contém meta-informação acerca da informação real, incluindo o que representa, em que formato(s) está disponível, por que métodos pode ser retirada a informação, que serviços podem ser invocados, etc. Cada "objecto de informação" possui a ele associado formatos, serviços e um conjunto de perfis para controlo de acesso. A informação real relativa a um "objecto de informação" está contida na empresa correspondente, e é gerida por um "servidor de informação". O "servidor de informação" é desenvolvido especialmente para aceder aos sistemas internos à empresa, sendo da sua responsabilidade realizar a correspondência entre o formato local e o formato aceite em DEM.

Este sistema cobre a fase de operação da Empresa Virtual.

FreeMarkets

FreeMarkets [FreeMarkets] ajuda o cliente a efectuar aquisições, assistindo-o na clarificação das suas necessidades, e reunindo uma lista de candidatos a fornecedores que se apresentem qualificados para preencher as suas especificações e standards de qualidade. Os fornecedores registam-se no mercado como sendo capazes de fornecer determinados serviços, incluindo também informação relativa ao perfil do seu negócio: descrição do processo de manufactura, qualidade e capacidade de entrega. Quando o comprador pretende realizar qualquer compra, inicia um leilão. Para cada fornecedor capaz de satisfazer o pedido em causa, é enviado um sumário simples dos serviços em discussão e escalonamento de eventos. Se o fornecedor se mostrar interessado, é-lhe então enviada nova informação com a descrição definitiva dos serviços, incluindo os termos da compra, assim como escalonamento de eventos e informação de contacto com o gestor do processo. Os fornecedores realizam então as propostas para o leilão, diminuindo os seus preços até que o leilão encerre por ordem do cliente. FreeMarkets possibilita a compradores a busca de componentes e matérias primas na indústria automóvel, de energia, de alta tecnologia, de manufactura e de bens de consumo.

Este sistema cobre a fase de selecção de parceiros, e operação da Empresa Virtual.

NexPrise

NexPrise [NexPrise] fornece a infraestrutura necessária para o desenvolvimento de produtos finais, pela combinação de competências existentes em múltiplas empresas. É uma arquitectura aberta baseada na Internet, que permite a comunicação e colaboração entre empresas independentes. A segurança sobre dados privados da empresa, é obtida pelo uso de técnicas de assinatura electrónica e certificados digitais, que garantem a protecção da informação transmitida na rede contra acessos não autorizados. Este projecto foca-se em três grandes áreas: a engenharia cooperativa, a subcontratação de fornecedores, e a verificação do correcto funcionamento do projecto.

A engenharia cooperativa é conseguida pela consolidação de toda a informação essencial ao projecto de desenvolvimento do produto em uma única fonte, permitindo que todos os membros da corporação trabalhem sobre a informação mais corrente e completa.

A subcontratação de fornecedores é facilitada pela inclusão de um directório de informação detalhada de fornecedores, incluindo suas capacidades e história de desempenho. A análise desta informação permite uma rápida decisão relativamente à selecção dos fornecedores mais apropriados em determinado instante.

A verificação do projecto é realizada por um módulo específico, que organiza e controla toda a informação relativa ao estado do projecto, notificando os membros da Empresa Virtual correspondentes, quando ocorre alteração de qualquer evento relevante.

O sistema NexPrise é utilizado nas áreas automóvel e aero-espacial. Este sistema apenas cobre a fase de operação da EV, embora represente uma pequena ajuda na fase de selecção de parceiros. Neste processo de selecção de parceiros, o sistema apenas disponibiliza uma identificação de potenciais fornecedores, não realizando qualquer operação de pesquisa ou selecção dos fornecedores relevantes para a satisfação de uma determinada necessidade.

NIIIP

NIIIP ("National Industrial Information Infrastructure Protocols consortium") [NIIP, 1998] visa o desenvolvimento de protocolos de software industriais de modo a permitir a interoperabilidade de ambientes de computação heterogéneos no decurso de um processo de manufactura. Este sistema baseia-se na construção de um local de integração, que inclui informação relativa a produtos de múltiplas organizações heterogéneas que são membros da Empresa Virtual. Este local existe enquanto a EV está activa, e é eliminado quando a EV é dissolvida. É um local neutro, onde os membros podem trabalhar em conjunto, e a informação aí contida deverá ser apresentada em formato STEP ("Standard for The Exchange of Product model data"). Trata a fase de operação de uma EV, dando resposta a quatro requisitos essenciais:

- Tecnologia de comunicação

  Usa a Internet para assegurar a conectividade entre empresas distribuídas.

- Interoperabilidade de aplicações

  Usa a tecnologia CORBA ("Common Object Request Broker Architecture"), que se baseia no desenvolvimento de interfaces orientadas ao objecto, para assegurar a interoperabilidade de componentes computacionais.

- Tecnologia de informação

  A linguagem STEP fornece a base de comunicação, para troca de informação relativa a produtos.

- Tecnologia de gestão do trabalho e do conhecimento

  Usa tecnologia de Fluxo de Trabalho para o planeamento, escalonamento e execução de projectos distribuídos pelas organizações heterogéneas participantes na EV.

PRODNET

PRODNET-II ("Production Planning and Management in an Extended Enterprise") [Camarinha e Lima, 1998], [Camarinha e Afarmanesh, 1999b] visa o desenvolvimento de protocolos de informação e mecanismos de suporte à operação de empresas virtuais de manufactura industrial. O sistema permite tratar fluxos de ordens, verificação do estado das ordens, escalonamento distribuído e dinâmico, e gestão de ordens incompletas e imprecisas. São tratados os seguintes requisitos próprios de uma EV:

- Interoperabilidade e integração de standards

  Utiliza os standards STEP e EDI ("Electronic Data Interchange").

- Gestão de actividades concorrentes envolvendo várias empresas

  Utiliza sistemas de gestão de Fluxo de Trabalho.

- Segurança e autenticação

  Para garantir a segurança da informação vinculada entre empresa, é utilizada tecnologia de criptografia baseada em chaves públicas e simétricas, bem como assinatura digital, sendo ainda incluídos direitos de acesso.

Este sistema cobre a fase de operação da Empresa Virtual.

SHADE

O projecto SHADE ("SHAred Dependency Engineering") [Kuokka *et al.*, 1993] foi desenvolvido pelo laboratório de investigação "Lockheed Martin Misseles and Space", Palo Alto, em colaboração com o laboratório de investigação "Enterprise Integration Technologies", Palo Alto, a Universidade de Stanford e a empresa "Hewlett-Packard". O projecto resultou na concepção de uma arquitectura que suporta a troca de informação entre sistemas inteligentes distribuídos, sistemas estes que cooperam na resolução de um problema comum. Não realiza

qualquer análise ou gestão sobre a operação do processo, apenas fornece uma infraestrutura flexível de partilha de conhecimento, permitindo a colaboração entre aplicações heterogéneas.

No desenvolvimento de um produto, algo está sempre a sofrer modificação: os requisitos do cliente, a disponibilidade de um componente ou a necessidade de melhorar um subprocesso. A reacção rápida a estas alterações é essencial para a qualidade e produtividade do sistema, sendo obrigatória a partilha de informação actualizada entre as empresas em cooperação.

As funcionalidades apresentadas pela arquitectura SHADE incluem:

- Representação de conhecimento partilhado
  O conhecimento partilhado pelos diferentes agentes do sistema é representado no formato *KIF* ("Knowledge Interchange Format")
- Protocolos de suporte de troca de informação
  É definida uma linguagem comum a todos os agentes, para suporte da transferência de informação: *KQML* ("Knowledge Query and Manipulation Lnguage")

Esta arquitectura não trata o problema da formação ou dissolução da Empresa Virtual, apenas estuda como realizar a cooperação entre os agentes que a constituem. SHADE foi testado em duas aplicações distintas: PACT e MACE.

A aplicação PACT ("Palo Alto Collaborative Testbed") visa o projecto e fabrico de um manipulador robótico. A aplicação MACE ("Mid-deck Active Controls Experiment") constitui um protótipo a incluir em um vaivém, para estudo do controlo da vibração em satélites.

VEGA

VEGA ("Virtual Enterprises using Groupware tools and distributed Architectures") [Stephens *et al.*, 1997] tem como objectivo a criação de uma arquitectura de software capaz de assegurar a troca de informação entre organizações heterogéneas que constituem a EV. Utiliza bases de dados distribuídas, que contêm informação escrita no standard STEP. O acesso a estas bases de dados distribuídas faz-se através de métodos baseados em CORBA, tendo sido desenvolvido um novo método que protege as aplicações contra os efeitos negativos resultantes da partilha de informação distribuída em um ambiente de acesso múltiplo.

Este sistema apenas cobre parte da fase de operação da EV, pois só permite a troca de informação entre membros da EV, não realiza qualquer verificação sobre o funcionamento ou desempenho da mesma.

VENTO

VENTO ("Virtual ENTerprise Organiser") [Alexakis, 1998] é um projecto que visa o desenvolvimento de um sistema de gestão de informação capaz de suportar os processos de negócio em empresas distribuídas e heterogéneas. Baseia-se em ferramentas de Grupo de Trabalho e Fluxo de Trabalho. Em termos de gestão de Grupo de Trabalho, é permitido

realizar o escalonamento e planeamento de actividades, o rastreio da história do projecto e colecção e análise de dados estatísticos, usando bases de dados centrais. Em termos de gestão de Fluxo de Trabalho, permite a automação de processos, a visualização de fluxos de informação e da actividade dos diferentes membros.

Este sistema cobre a fase de operação da Empresa Virtual.

WISE

WISE [Alonso *et al.*, 1999] visa o desenvolvimento de um sistema genérico que permite a peritos desenvolver aplicações distribuídas. Baseia-se em ferramentas de Fluxo de Trabalho, incluindo extensões para tratamento de segurança, qualidade de serviço e garantia de execução.

A segurança é garantida pelo uso de técnicas de encriptação de dados e autenticação, para execução, acesso e verificação de processos.

A qualidade de serviço permite a distinção de diferentes categorias de processos: crítico, importante e normal. Em um processo *crítico*, são reservados os recursos que garantam a execução do mesmo. Em um processo *importante*, são garantidos atrasos máximos na sua execução. Em um processo *normal*, a execução do mesmo é realizada em um modo de melhor esforço, mas sem garantias da não existência de qualquer atraso.

A garantia de execução implica o término do processo em um estado consistente, ou, caso não seja possível, a remoção de todas as alterações que foram sendo introduzidas.

Este sistema inclui ainda uma interface gráfica, que permite verificar e controlar a execução do processo, sendo permitido terminar, suspender ou desistir do processo em qualquer instante.

Um exemplo de aplicação deste sistema é na área dos seguros. A Empresa Virtual é constituída por uma empresa de seguros (onde estão incluídos dois departamentos diferentes: departamento policial e departamento de reclamações), e uma companhia de avaliação de prejuízos. O sistema gere a troca de informação entre as duas empresas independentes.

Em primeiro lugar, o departamento de reclamações recebe a reclamação do cliente, e recolhe toda a informação necessária. Esta informação é processada no departamento policial, onde é relacionada com outra informação disponível na base de dados, que inclui: a classificação da reclamação, dados sobre o cliente, etc. O resultado é enviado novamente para o departamento de reclamações, onde o tipo de reclamação é agora determinado, para cálculo do respectivo valor de seguro. O cenário descrito inclui dois tipos de reclamação: roubo e fogo. No caso de roubo, a informação é tratada pelo departamento policial. Em caso de fogo, é pedido à empresa avaliadora de prejuízos uma estimativa do montante a ser pago ao cliente.

Este sistema cobre apenas a fase de operação da EV.

2.6.2. *Análise comparativa*

A tabela seguinte (Tabela 3) apresenta a cobertura das diferentes fases do ciclo de vida de uma Empresa Virtual, pelos sistemas apresentados na secção anterior.

Por análise desta tabela, verifica-se que ambas as fases de *identificação da necessidade* e *dissolução* não são tratadas por nenhum dos sistemas analisados.

Ciclo de Vida / *Sistema*	Identificação necessidade	Selecção de parceiros	Operação	Dissolução
AIMSNet	×	- *identificação fornecedores*: pesquisa catálogo	- *partilha informação*: agenda e locais de conversação - *verificação*: notificação eventos	×
ARTOR	×	- *selecção*: negociação iterativa propostas e contra-propostas	×	×
CIIMPLEX	×	×	- *verificação*: notificação eventos	×
CrossFlow	×	- *selecção*: correspondência oferta/procura	- *verificação*: inquisição cliente, notificação fornecedor	×
DEM			- *partilha informação*	
FreeMarkets	×	- *selecção*: leilão holandês	escalonamento definido pelo cliente	×
NexPrise	×	- *identificação fornecedores*: catálogo	- *segurança dados* -*verificação*: notificação eventos	×
NIIIP	×	×	- *partilha informação*	×
PRODNET	×	×	- *partilha informação* - *segurança dados* - *gestão fluxo trabalho*	×
SHADE	×	×	- *partilha informação*	×
VEGA	×	×	- *partilha informação*	×
VENTO	×	×	- *gestão fluxo trabalho*	×
WISE	×	×	- *gestão fluxo trabalho* - *segurança dados*	×

Tabela 3. Sistemas para Empresas Virtuais e suporte do ciclo de vida

Todos os sistemas, com excepção do sistema *ARTOR* tratam a fase de *operação* da EV. Nesta fase de operação, a tarefa de *partilha de informaçã*o entre os membros heterogéneos da EV é aquela que é disponibilizada por um maior número de sistemas (seis em doze). A *verificação* do correcto desempenho das tarefas em execução é uma tarefa que é tratada em um número considerável de sistemas (quatro sistemas), sendo também de registar a existência de funcionalidades relacionadas com a *segurança* na transmissão de dados (três sistemas) e *gestão do fluxo de trabalho* (três sistemas).

A tarefa de partilha de informação traduz a capacidade de permitir a troca de informação entre empresas individuais, disponibilizando quer um meio de transmissão de informação, quer um entendimento comum dessa informação, conseguido pela adopção de uma semântica comum entendida por todos os membros da EV.

A tarefa de verificação resulta em uma análise do correcto funcionamento do processo a que a EV se comprometeu, alterando este mesmo processo ou reconfigurando a própria EV, sempre que necessário. A segurança de dados garante a transmissão fiável de dados em uma rede de comunicação, que é conseguida por uso de tecnologia de criptografia (*Prodnet* e *WISE*), assinaturas digitais (*NexPrise* e *Prodnet*) e autenticação (*WISE*). A tarefa de gestão de fluxo de trabalho refere-se à gestão das dependências existentes no conjunto de actividades dispersas pelas empresas membros da EV.

A fase de *selecção de parceiros* é focada em apenas cinco dos doze sistemas apresentados, sendo apenas parcialmente satisfeita nos sistemas *AIMSNet* e *NexPrise*. Estes dois sistemas apenas permitem a *identificação de potenciais parceiros* da EV, não efectuam qualquer processo de selecção. No sistema *ARTOR*, a selecção de parceiros é realizada pelo sistema através de um processo de negociação iterativo onde os clientes e fornecedores trocam propostas e contra-propostas até chegarem a um consenso[2]. No sistema FreeMarkets, a selecção de parceiros é realizada por um mecanismo de leilão, onde fornecedores lançam propostas de preços, que vão decrescendo ao longo do tempo, sendo a aceitação do preço actual por parte de um cliente o sinal que dita o término do leilão. No sistema *CrossFlow*, o processo de selecção de parceiros é bastante mais simples, baseando-se apenas em uma correspondência entre a informação relativa a ofertas e procuras, que é mantida no sistema.

2.7. Requisitos e desafios

A Empresa Virtual apresenta uma estrutura não hierárquica e, geralmente, não possui qualquer controlo central. Porque a EV é constituída por empresas independentes, estas são confrontadas com novos problemas de gestão interorganizacional.

---

[2] No sistema ARTOR, o objecto da negociação é um bem descrito por múltiplos atributos, contrariamente aos outros sistemas aqui referidos, em que a selecção de parceiros da EV é realizada com base, apenas, no preço do bem requerido.

Um dos problemas mais expressivos causados pela natureza distribuída da EV envolve, naturalmente, a coordenação. A coordenação é vista como o acto de gerir interdependências entre actividades que são executadas na satisfação de um objectivo, interdependências estas que se revelam algo difíceis de controlar, devido ao facto de os participantes não se encontrarem no mesmo local geográfico. Neste campo, a evolução crescente da tecnologia de informação é um dos factores mais importantes no desenvolvimento das EVs.

A interacção entre entidades independentes que se encontram, sem conhecimento prévio, e decidem formar uma corporação para satisfação de uma determinada necessidade de mercado, implica ainda a existência de uma relação de confiança ou compromisso entre elas.

2.7.1. A tecnologia de informação na Empresa Virtual

Novas formas de organizar e conduzir negócios envolvendo várias entidades surgem naturalmente à medida que a tecnologia evolui. O surgimento do telefone e do fax facilitou a comunicação e troca de informação entre entidades negociadoras, que anteriormente requeriam a realização de reuniões pessoais ou o envio de correio postal. O surgimento de sistemas computacionais dispersos que podem ser ligados por tecnologia de comunicação, alargam ainda mais a facilidade de entidades distribuídas geograficamente cooperarem em um negócio comum.

Um sistema de informação é um factor essencial na gestão de qualquer empresa ou organização. Segundo Ferstl e Sinz [Ferstl e Sinz, 1996], o sistema de informação é mesmo considerado o sistema nervoso de uma organização. Na gestão, não de uma empresa isolada, mas sim de uma rede de empresas que operam em conjunto, o sistema de informação torna-se ainda mais necessário.

A existência de tecnologia de informação é essencial para a criação e operação da EV, pois esta baseia-se essencialmente na habilidade de agrupar, pesquisar e partilhar informação relevante existente em múltiplas empresas. A interacção destas empresas heterogéneas na actividade da EV exige alguma padronização quer da informação presente na EV, quer do sistema de comunicação entre as empresas participantes.

As empresas virtuais colocam assim alguns requisitos especiais aos sistemas de informação, nomeadamente [Sims, 1996]:

- Comunicação entre as empresas

  É obrigatória a existência de um canal de comunicação comum entre as empresas individuais que constituem a EV. Este canal de comunicação deve ser aberto e de fácil acesso, para garantir que mesmo as empresas de menor dimensão são visíveis e participam nesta nova economia. Este canal deve garantir também as questões básicas de segurança: confidencialidade e autenticidade.

- Semântica comum de termos do negócio

  Deve existir um entendimento partilhado do significado das entidades tratadas.

Estes assuntos, relacionados com a interacção e comunicação entre entidades distribuídas (neste caso, empresas), são analisados no capítulo 4 com maior detalhe, e sob um ponto de vista mais geral (Sistemas Multi-Agentes). No entanto, no ponto seguinte, referimos apenas brevemente a existência de standards de informação próprios para um campo de aplicação usual em Empresas Virtuais: manufactura, e produtos técnicos de engenharia.

Partilha de informação técnica

Um dos requisitos colocados a um sistema de informação em uma Empresa Virtual é a partilha de informação. É necessário definir um formato comum para a representação e troca de dados entre os membros que compõem a EV.

- Uma hipótese é cada Empresa Virtual definir o seu próprio formato para utilização por parte de todos os seus membros. A desvantagem óbvia de tal solução é que as empresas individuais teriam de alterar o seu formato de representação de informação (e talvez os seus processos de execução) sempre que fizessem parte de uma ou outra Empresa Virtual.
- Uma outra hipótese é a utilização de informação standard. Segundo Hardwick e Spooner [Hardwick e Spooner, 1998], um dos formatos mais usuais para representação de informação técnica relativa a produtos em empresas industriais de engenharia e manufactura, é o baseada em STEP.

STEP ("Standard for The Exchange of Product model data") é um standard, que produz uma especificação extensiva de dados de produtos, a ser utilizada por inúmeros e diferentes utilizadores. Esta especificação descreve dados usados por diferentes aplicações em diferentes contextos, originando a definição de modelos de objectos normalizados.

STEP é um standard entendido por muitos sistemas CAD ("Computer Aided Design"), CAM ("Computer Aided Manufacturing"), CAE ("Computer Aided Engineering") e PDM ("Product Data Management"), sistemas que estão já implantados no mundo industrial. O STEP cria modelos de objectos normalizados, denominados modelos de informação. Estes modelos de informação são descritos numa linguagem de especificação de dados orientada ao objecto, denominada EXPRESS. Esta linguagem, que descreve modelos de dados normalizados, permite a descrição de estruturas de dados complexas bem como restrições necessárias para propriedades como a geometria e a topologia.

2.7.2. Confiança e Compromisso

Porque a Empresa Virtual é uma estrutura temporária, constituída por empresas independentes e geograficamente dispersas, que geralmente se encontram aí pela primeira vez, e tem por base motivações económicas, é necessário garantir o cumprimento das

obrigações a que cada uma das empresas se compromete. Dois pontos são considerados essenciais para a inclusão de uma qualquer empresa na corporação que é a EV:

- Confiança

  A cooperação deve ser baseada numa relação de confiança. Embora possam ser exigidas algumas obrigações aos membros da EV, na prática revela-se difícil fazer cumprir essas obrigações. Os membros da EV são empresas que apenas possuem um contacto electrónico, sendo extremamente fácil criar entidades fictícias. Alguns dos sistemas referidos anteriormente (*AIMSNet*, *FreeMarkets*, *NexPrise*) tentam resolver este problema, obrigando as empresas que pretendam candidatar-se a uma eventual inclusão na EV, a realizar um registo no mercado criado pelo sistema. O gestor do sistema verifica a veracidade das afirmações contidas neste registo, e a empresa fica a partir desse momento inscrita permanentemente no mercado, onde irá sendo incluída informação relativa ao seu nível de desempenho.

- Compromisso

  Uma empresa pode participar em múltiplas empresas virtuais, o que pode originar conflitos de interesses. Ou pode simplesmente desistir da sua permanência na EV, porque tal facto deixou de ter interesse económico para si. O estabelecimento de contratos electrónicos é uma técnica usada em alguns sistemas para responder a este problema (*AIMSNet*, *CrossFlow*). As empresas participantes na EV assinam um documento onde são especificados os compromissos a que cada uma delas está vinculada. Sandholm e Lesser [Sandholm e Lesser, 1995a] consideram útil, e com razão, que tais compromissos sejam passíveis de anulação, por pagamento de uma penalidade a incluir no contrato.

2.8. Conclusão

Neste capítulo foi analisado o porquê do surgimento da Empresa Virtual, tendo-se concluído ser este facto devido à necessidade de dar resposta a novos requisitos de um mercado cada vez mais exigente. Neste mercado, destacam-se como requisitos mais prementes os descritos nos pontos seguintes [Parunak, 1997]:

- *Introdução*

  O mercado é geralmente aberto, o que permite que qualquer empresa, de grande ou pequena dimensão, ou indivíduo, tenha acesso fácil ao mercado. A abertura do mercado tem outras duas implicações: confere um carácter dinâmico muito forte, e permite a existência de uma elevada quantidade de informação. A dinâmica do mercado reflecte-se em constantes entradas e saídas de clientes e fornecedores, isto é, novos bens (ofertas) e necessidades (procuras) aparecem e desaparecem rapidamente no mercado. A elevada quantidade de informação presente no mercado leva ao surgimento de novas oportunidades de negócio.

- *Integração*

  Os mercados tradicionais bloqueiam quando a oferta e procura não são localizados no tempo ou no espaço. O novo mercado ultrapassa as barreiras do tempo e espaço, permitindo a ligação de consumidores e fornecedores que estão separados geograficamente, e satisfaz ocorrências temporárias de ofertas e procuras.

- *Modularidade*

  O mercado deve suportar a negociação em valores adicionais de competências principais. As componentes individuais e altamente especializadas de uma empresa podem ser utilizadas em conjunto com componentes de outras empresas, com vista à formação de um processo maior e mais complexo, e de fácil gestão porque se encontra estruturado em módulos.

A resposta a estes requisitos de mercado obriga a novos conceitos organizacionais que permitam atingir a dimensão (virtual) necessária para alargar as competências e recursos sem estar sujeito à inflexibilidade que está usualmente associada às grandes organizações. Uma aproximação válida para a satisfação destes requisitos é a cooperação entre empresas, sendo já usual o estabelecimento de alianças estratégicas ou consórcios que são estabelecidos através de contratos. Contudo, esta associação tem a desvantagem de não possuir a habilidade de fácil reconfiguração dinâmica, em reacção a alterações do mercado. A Empresa Virtual ultrapassa este obstáculo, pois as empresas colaboradoras encontram-se ligadas de uma forma fraca, sendo relativamente fácil a sua formação, dissolução ou reconfiguração.

Como conclusão, enumeramos nos pontos seguintes as principais características de uma Empresa Virtual:

- Colecção de competências principais complementares, que permitem a disponibilização de bens de alta qualidade que nenhum dos parceiros realizaria por si só.
- Os riscos de negócio, e custos dos recursos, bem como os lucros são distribuídos pelos parceiros.
- Os processos conjuntos dos parceiros e a partilha de conhecimento possibilitam a redução do tempo de produção dos bens.
- É mais fácil penetrar no mercado, pela possibilidade de disponibilizar bens não padronizados, e de qualidade elevada.

Neste capítulo foi ainda realizada uma breve apresentação de alguns modelos e sistemas computacionais existentes para Empresas Virtuais, tendo sido enumeradas as suas características principais, e realizada uma análise comparativa entre estes vários sistemas.

Capítulo 3

Comércio Electrónico

Neste capítulo é apresentado o conceito de Comércio Electrónico como uma nova forma de comércio, inserido em um mercado aberto e dinâmico, e suportado por uma rede de comunicação (mercado electrónico). É ainda incluída uma apresentação de alguns sistemas computacionais que suportam uma ou mais fases do ciclo de vida de uma transacção de negócio, e realizada uma análise comparativa entre estes sistemas.

3.1. Introdução

O comércio é a actividade através da qual compradores e vendedores se encontram em um local e instante específicos, anunciam as suas intenções de compra e venda, e eventualmente chegam a um acordo, terminando a transacção pela entrega e pagamento do produto ou serviço respectivo.

As inovações crescentes na área de tecnologia de informação e comunicação, eliminam as restrições de tempo e espaço, alterando radicalmente a forma de comércio tradicional. Devido à rápida proliferação das redes de comunicação cada vez mais fiáveis e de fácil acesso por qualquer indivíduo, surgiu uma nova forma de comércio: o denominado comércio electrónico.

As primeiras manifestações de comércio electrónico surgiram com a disponibilização, por parte de entidades vendedoras, de catálogos de produtos em redes públicas de comunicação. Potenciais compradores, por pesquisa destes catálogos, seleccionam os produtos que mais lhe interessam, sem necessidade de se deslocar ao local de venda desse vendedor, e sem necessidade de obedecer a qualquer horário de atendimento.

Mas o comércio electrónico engloba bastante mais que a simples disponibilização e posterior pesquisa de produtos em catálogos electrónicos. O comércio electrónico engloba também, e talvez esta seja a característica mais ambiciosa, a automação do processo de negociação entre compradores e vendedores, com o intuito de chegar a um acordo aceitável por ambas as partes.

A Empresa Virtual, e de acordo com o descrito no capítulo anterior, também pode ser vista como resultante de uma actividade de comércio electrónico. Em uma EV, os participantes não são vendedores e compradores individuais, mas sim empresas que pretendem adquirir não bens finais, mas sim bens e (ou) recursos que serão incorporados nos seus próprios processos empresariais. Este tipo de comércio electrónico é usualmente designado por comércio negócio-

a-negócio ("*business-to-business*"), por oposição ao primeiro, designado por comércio negócio-a-consumidor ("*business-to-consumer*"). É o comércio negócio-a-consumidor que, na maioria das vezes, é designado simplesmente por comércio, o tema de discussão deste capítulo.

3.2. O Mercado Electrónico

Mercado é a designação de todo o ambiente que rodeia e possibilita a realização de uma transacção de negócio. Não é apenas o local onde os participantes (compradores e vendedores) se encontram com o objectivo de obter um acordo relativo à compra/venda de determinado produto. O mercado inclui também a imposição de comportamentos e regras que ditam como essa interacção deve ser realizada.

Em termos económicos, os mercados podem ser classificados como *mercados monopolistas* e *mercados competitivos* [Varian, 1995a] (ver Figura 7):

- ***Mercado monopolista***

  O produto P é disponibilizado por apenas um vendedor.

- ***Mercado competitivo***

  O produto P é disponibilizado por múltiplos vendedores. O mercado é ainda classificado em mercado puramente competitivo, e mercado de competição monopolista.

  - *Puramente competitivo*

    Existem vários vendedores que disponibilizam o produto P. Os diferentes vendedores oferecem idêntica qualidade para o produto P.

  - *Competição monopolista*

    Existem vários vendedores que disponibilizam diferentes produtos, que são substitutos do produto P.

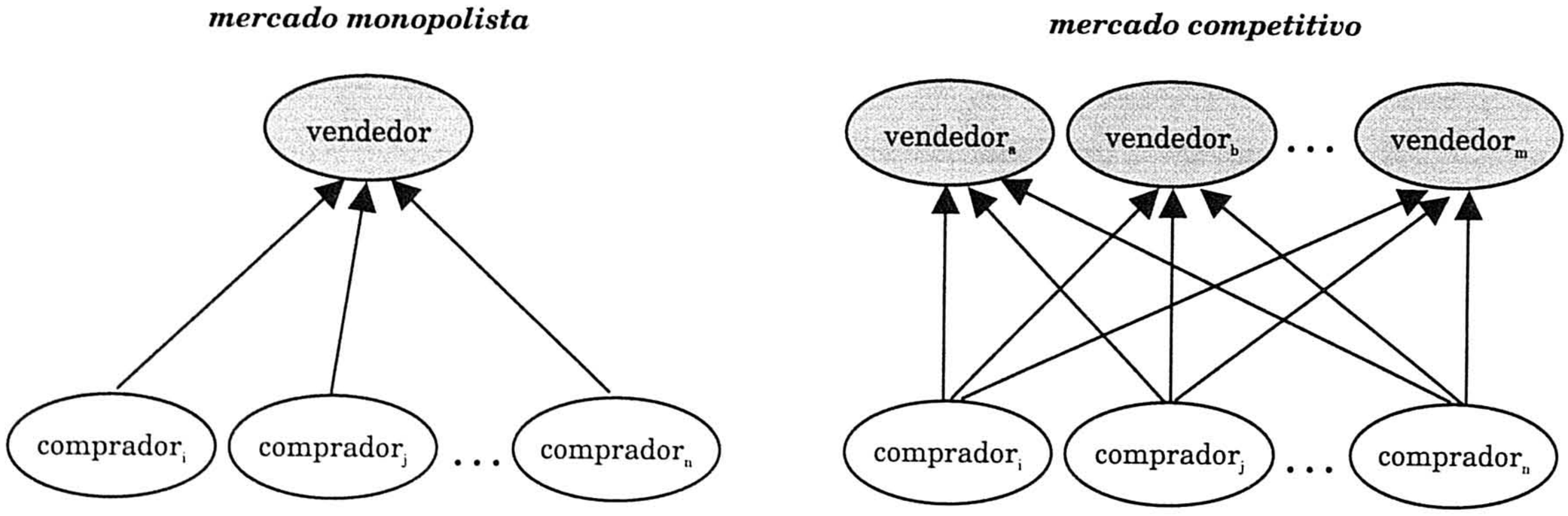


Figura 7. Mercado monopolista e mercado competitivo

Durante a apresentação desta dissertação, e se nada for dito em contrário, assume-se que o mercado é sempre competitivo. Assim, um mercado competitivo é designado simplesmente por mercado.

No mercado tradicional, o comprador (vendedor) que tem necessidade de obter (vender) determinado produto, desloca-se ao local do mercado, e procura pessoalmente um vendedor (comprador). As duas partes discutem pessoalmente os termos relativos à transacção e, eventualmente, chegam a um acordo. A transacção termina com a entrega do produto, por parte do vendedor, ao comprador, e o pagamento deste ao vendedor.

No mercado electrónico, e contrariamente ao mercado tradicional, a transacção não é localizada quer no tempo quer no espaço. O local de mercado é um local virtual onde os participantes em uma área de negócio específica, que estão geograficamente distribuídos e são possivelmente desconhecidos uns dos outros, se encontram e interagem com o intuito de satisfazer um objectivo de negócio comum [Bakos, 1998]. Uma das características que mais sobressai desta definição de mercado electrónico é, sem dúvida, a distribuição geográfica dos participantes. Este facto implica que o mercado seja suportado por uma infraestrutura de informação e comunicação robusta e coerente. Este assunto será objecto de uma análise mais detalhada na secção 3.2.2.

Segundo Bakos [Bakos, 1998], os mercados, electrónicos ou não, possuem três funções principais:

- Estabelecer a relação entre compradores e vendedores.
- Facilitar a troca de informação, bens, serviços e pagamentos.
- Fornecer uma infraestrutura institucional.

Estes pontos são desenvolvidos de seguida, sendo confrontada a sua realização em mercados tradicionais e em mercados electrónicos.

Estabelecer a relação entre compradores e vendedores

Um mercado permite conhecer as ofertas e procuras existentes. Um comprador deve ser capaz de procurar potenciais vendedores, e um vendedor deve ser capaz de procurar eventuais compradores. O mercado disponibiliza também mecanismos económicos adequados que permitam atingir um consenso entre comprador e vendedor quanto aos termos do negócio.

- Em um mercado tradicional, esta correspondência é efectuada pessoalmente pelos próprios participantes que localmente procuram eventuais parceiros de negócio, e estabelecem com eles uma interacção com vista à obtenção de um acordo de negócio.
- Em um mercado electrónico, os vendedores e compradores não se encontram pessoalmente. A procura de eventuais parceiros, é realizada de acordo com informação que estes previamente colocaram no mercado. Quer a publicitação de produtos por parte dos vendedores, quer a descrição de necessidades por parte dos compradores, deve ser realizada de forma cuidada. A informação deve ser suficientemente detalhada para que a outra parte entenda as características do produto anunciado ou requerido. O mecanismo económico que conduz a negociação

deve ser especificado quando um potencial participante inspecciona o mercado, para que estes conheçam antecipadamente as regras do jogo.

Facilitar a troca de informação, bens e pagamentos

O mercado permite a interacção entre os participantes em um negócio, que necessitam chegar a um consenso relativamente aos bens a transaccionar e respectivas condições. A informação trocada entre os participantes refere-se quer a publicitação por parte de vendedores e anúncio de necessidades por parte de compradores, quer a propostas e contra-propostas por parte de compradores e vendedores durante o processo de negociação dos termos da transacção. Quando compradores e vendedores chegam a acordo, o mercado deve permitir efectivar esse acordo, isto é, os vendedores entregam o bem que foi negociado a compradores, e os compradores realizam o respectivo pagamento aos vendedores.

- Em um mercado tradicional, esta troca de informação, bens e pagamentos é realizada pessoalmente por compradores e vendedores, na presença uns dos outros.
- Em um mercado electrónico, é a infraestrutura de comunicação que permite a realização desta troca. Esta estrutura de comunicação é um factor de extrema importância no comércio electrónico, podendo mesmo ditar o sucesso ou insucesso do mesmo. Como o comércio electrónico, por definição, é um sistema aberto (qualquer entidade pode participar), apoia-se em redes públicas de comunicação. Por um lado, é necessário assegurar a integridade e confidencialidade dos dados transmitidos nessa rede pública. Por outro lado, é obrigatório o uso de uma linguagem compreensível por todos os participantes do mercado: ou a linguagem é comum para todos os participantes; ou cada participante conhece a linguagem de mercado e possui uma interface de tradução entre essa linguagem do mercado e a sua própria linguagem.

Fornecer uma infraestrutura institucional

O funcionamento de qualquer mercado está sujeito a regras, quer em termos legais, quer em termos regulamentares. Em termos legais, devem ser respeitados o código comercial e as leis de contrato. Em termos regulamentares, devem ser impostas normas de comportamento e verificação.

- Em um mercado tradicional, as regras de funcionamento são estipulados pelas leis vigentes em cada local (país), e pelo próprio mercado. Assim, por exemplo, um vendedor tradicional que pretende exercer a sua actividade dispondo de um local fixo de venda, é obrigado a inscrever-se no Registo Nacional de Pessoas Colectivas e na Conservatória do Registo Comercial, e está obrigado a respeitar um conjunto de regras específicas: inscrição de preços em todos os produtos, pagamento de uma taxa por montante de venda, respeito de um horário de actividade limitado e pré-especificado, etc.

- Em um mercado electrónico, as regras de funcionamento deste são ditadas pelo próprio mercado, e variam de mercado para mercado. É usual existir um documento electrónico descritivo do funcionamento do mercado, que inclui os direitos e obrigações de cada participante, e as regras de negócio [Wurman *et al.*, 1998], [NexPrise], [FreeMarkets]. Este documento deve ser aceite por cada um dos participantes quando se regista no mercado, como entidade compradora ou vendedora.

3.2.1. A função de intermediário

Os participantes essenciais de uma transacção de negócio são o vendedor e o comprador. Muitas vezes, aparece ainda uma outra entidade, o intermediário, de carácter não obrigatório, cuja função é aumentar a eficiência do processo de transacção.

A função principal do intermediário é juntar compradores e fornecedores em um local de mercado, isto é, fazer corresponder as necessidades dos compradores com as capacidades dos fornecedores [Bichler *et al.*, 1998].

Especialmente no mercado electrónico, existe uma necessidade para um mecanismo eficiente de anúncio, pesquisa, apresentação, gestão e actualização de informação. Para tratar destes assuntos, surgiu a noção de intermediário. Estes não são nem fornecedores (vendedores) nem requerentes (compradores) no processo de transacção. As funções principais de um intermediário são: estabelecer a correspondência entre compradores e vendedores; fornecer informação relativa a produtos a compradores, e informação relativa a mercados a vendedores; assegurar a entrega física dos bens transaccionados, e respectivo pagamento; estabelecer relações de confiança, e assegurar a integridade dos mercados. O intermediário suporta o fluxo de informação no comércio electrónico, ajuda na localização e estabelecimento de ligação entre fornecedores de informação e requerentes de informação.

No comércio, podem ser distinguidos dois tipos fundamentais de informação: aquilo que os compradores pretendem obter (pedido), e aquilo que os vendedores são capazes de oferecer (oferta). A manutenção da privacidade desta informação, permite categorizar os intermediários em três classes fundamentais [Decker *et al.*, 1997]: *adaptador*, *"quadro negro"* e *mediador*.

- ***Adaptador ("Matchmaking")***

  Entidade que guarda a informação relativa às capacidades disponíveis actualmente no sistema, isto é, competências dos diversos vendedores existentes. O comprador pode questionar o adaptador para indicação de eventuais vendedores que lhe interesse, e contactá-los directamente.

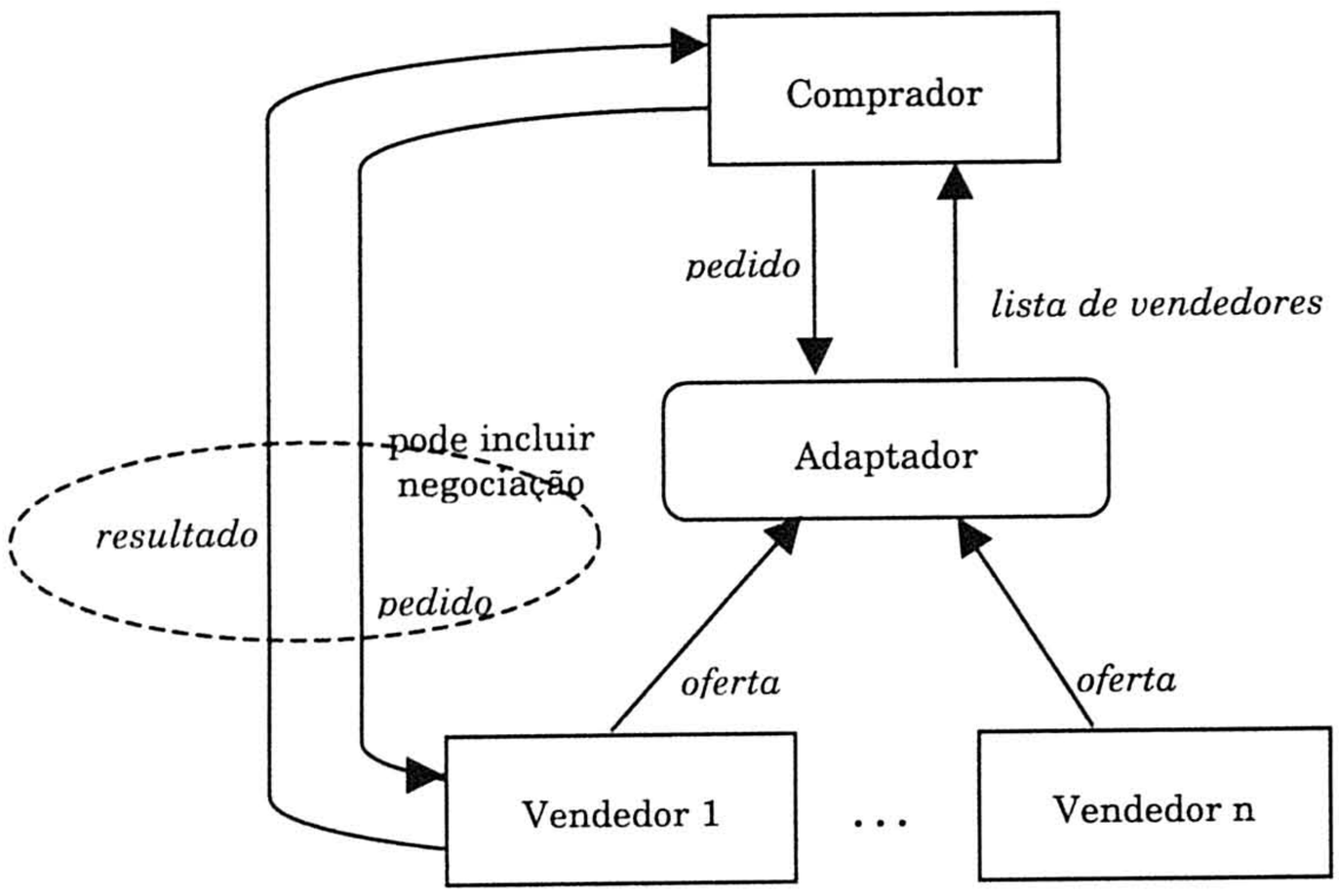


Figura 8. A entidade Adaptador

- ***"Quadro Negro" ("Blackboard")***

  Entidade que mantêm o registo dos pedidos realizados. Os compradores colocam os seus pedidos nesta entidade. Os vendedores procuram na entidade "quadro negro" pedidos que sejam capazes de satisfazer.

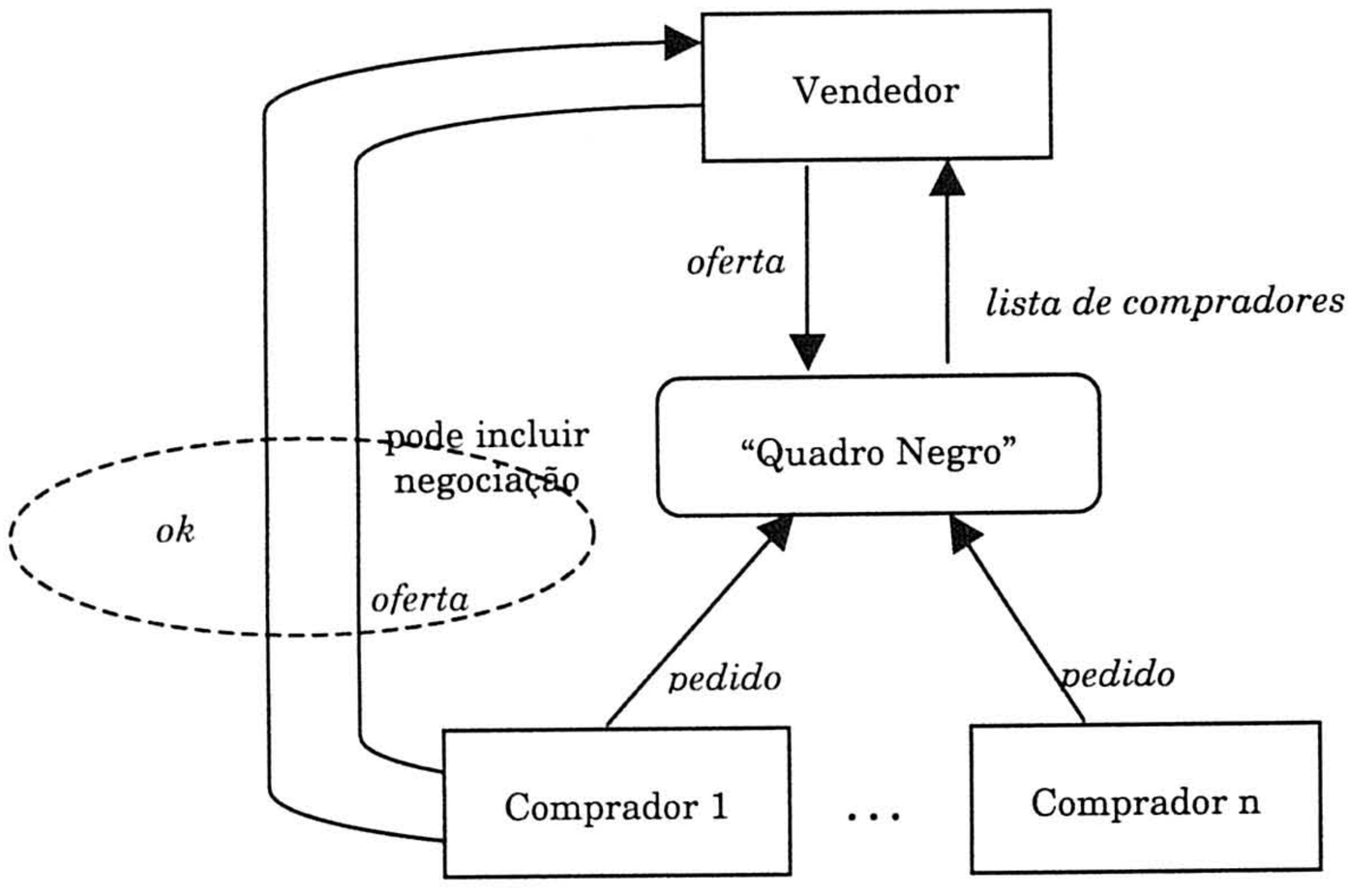


Figura 9. A entidade "Quadro Negro"

- ***Mediador ("Broker")***

  Entidade que protege a privacidade do comprador e do vendedor. O mediador recebe e interpreta a informação proveniente quer de compradores quer de vendedores, trata os pedidos e ofertas, e envia os resultados às partes respectivas. O comprador e o vendedor não têm conhecimento directo um do outro durante a transacção.

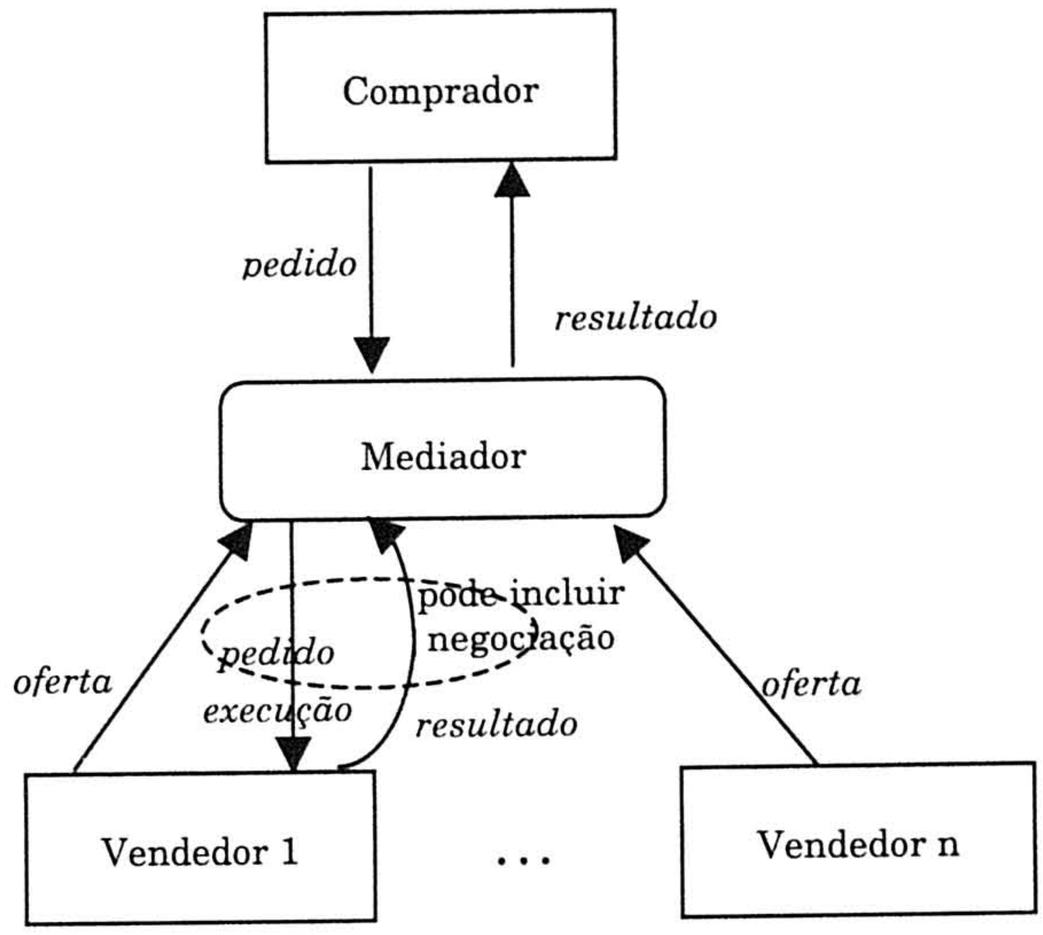


Figura 10. A entidade Mediador

No comércio electrónico, existem outros tipos de intermediários, cuja função não está directamente relacionada com o processo de transacção, mas possuem funções auxiliares várias. Como exemplo, podemos apontar o sistema FishMarket [Rodriguez *et al.*, 1997], que simula o comportamento de compradores e vendedores em um mercado de lota de peixe, e inclui na sua arquitectura uma entidade *receptor*, cuja função é simplesmente registar a identidade e endereço dos participantes; e também uma entidade *unidade de crédito*, cuja função é validar as compras efectuadas por um comprador, por análise da sua linha de crédito. Entidades deste tipo são designadas por *facilitadores*.

Como veremos posteriormente (secção 3.4.2), as arquitecturas de sistemas computacionais disponibilizando sítios na "Web" para comércio electrónico tendem a adequar-se ao fornecimento de todos ou alguns dos componentes aqui referidos.

3.2.2. A comunicação no Mercado Electrónico

O comércio electrónico necessita ser suportado por sofisticada tecnologia de informação e comunicação em rede, capaz de tratar com robustez e fiabilidade as características inerentes a este local de comércio, nomeadamente:

- A diversidade de produtos, participantes e interesses;
- A dispersão de participantes, recursos e oportunidades;
- A segurança das transacções na rede.

O primeiro item traduz a necessidade de uma ontologia, que permita a participantes heterogéneos entender-se mutuamente. Este assunto será objecto de discussão no capítulo 4 desta tese (Sistemas Multi-Agentes).

Os dois últimos itens da lista estão ligados ao uso de uma rede de comunicação para a ligação dos participantes, que se encontram geograficamente distribuídos. A crescente e

entusiástica aceitação da tecnologia Internet na comunicação mundial, por parte de um universo numeroso e díspar de indivíduos e instituições, sugere esta como a tecnologia ideal para suporte ao comércio electrónico. A Internet é efectivamente a rede de comunicação mais utilizada no comércio electrónico pelas importantes vantagens que apresenta:

- Disponibilidade em qualquer ponto do globo

  A utilização da Internet não tem qualquer restrição espacial ou temporal, encontrando-se disponível a partir de qualquer ponto do mundo onde existam computadores em rede, e em qualquer horário.

- Acessível a qualquer indivíduo

  A acessibilidade da Internet é extensível a qualquer possível participante em uma transacção de negócio, indivíduo ou entidade empresarial de grande, média e pequena dimensão. Actualmente, o seu custo não é excessivo, e o seu acesso pode ser realizado a partir de casa, escritório ou escola.

- Fácil utilização

  A Internet está equipada com ferramentas de comunicação poderosas, ao mesmo tempo que dispõe de utilitários amigáveis de fácil utilização: HTTP (Hyper Text Transport Protocol), HTML (Hyper Text Markup Language), WWW (World Wide Web).

Contudo, a utilização da Internet apresenta um ponto fraco, mas muito importante, principalmente na área do comércio: a segurança. Porque é uma rede de comunicação pública, torna-se possível a ocorrência de erros maliciosos. Todas as transacções que envolvam transferência e troca de dados proprietários através da rede devem ser completamente seguras, sob risco de que os participantes percam a confiança no sistema. A segurança incide sobre os seguintes pontos [Sriram, 1997]:

- Autenticidade

  Habilidade, por parte do receptor, de verificar a identidade do emissor da mensagem.

- Integridade

  Habilidade de comprovar que a mensagem não foi corrompida ou modificada.

- Privacidade

  Deve ser garantido que só as partes autorizadas têm acesso ao conteúdo da mensagem.

- Controlo de acesso

  Habilidade de determinar se uma entidade tem acesso à mensagem, e, em caso afirmativo, a que partes da informação.

A solução usualmente adoptada para a resolução do problema da segurança em transmissões realizadas em uma rede pública, consiste no uso de técnicas de criptografia e na utilização de chaves públicas [Merz *et al.*, 1996].

3.3. Estrutura e Organização do Comércio Electrónico

Uma transacção de negócio consiste em um conjunto finito de processos de interacção entre participantes com objectivos complementares: *compradores* pretendem comprar um determinado bem que *vendedores* estão dispostos a vender. A transacção inicia-se quando compradores e vendedores anunciam os seus propósitos de comercializar um determinado bem (produto ou serviço), e termina com o estabelecimento de um acordo entre o vendedor e o comprador, para troca desse bem.

O ciclo de vida de uma transacção de negócio é identificada pela maioria dos autores [Schmid, 1994], [Klein e Langenohl, 1994] como sendo decomposta em três fases distintas: *informação*, *negociação* e *resolução*. Segundo Guttman [Guttman *et al.*, 1998], que realiza a análise de uma transacção de negócio, do ponto de vista do comprador, a primeira destas fases é ainda dividida em três sub-fases: identificação da necessidade, pesquisa de produtos e pesquisa de fornecedores; e a última em duas sub-fases: pagamento e entrega e avaliação.

A tabela a seguir apresentada (Tabela 4) identifica esta decomposição segundo vários autores, e as secções seguintes definem com maior detalhe cada uma das fases enunciadas.

Fases do Ciclo de Vida			
	Informação	Recolha de informação	Identificação da necessidade
			Pesquisa de produtos
			Pesquisa de fornecedores
	Negociação	Negociação	Negociação
	Resolução	Resolução	Pagamento e entrega
			Avaliação
Autores	*[Klein e Langenohl, 1994]*	*[Schmid, 1994]*	*[Guttman et al., 1998][3]*

Tabela 4. Ciclo de vida da transacção de negócio (vários autores)

3.3.1. Informação

Nesta fase é descrita a situação do mercado, isto é, a informação relativa aos participantes e recursos disponíveis. Esta informação inclui:

- Especificação detalhada de produtos
- Identificação de vendedores e condições oferecidas
- Identificação de potenciais compradores e interesses

[3] Segundo o ponto de vista do comprador.

O local de mercado (electrónico) possui como função primária facilitar a correspondência entre a procura e a oferta. Uma primeira hipótese, e a existente actualmente, é o mercado ser *estático* e permitir que compradores e vendedores aí incluam informação relativa às suas necessidades e capacidades, e pesquisem informação complementar. Uma segunda hipótese, e a mais interessante, é o mercado ser *dinâmico* e capaz de responder a necessidades e capacidades aí incluídas e ainda não satisfeitas. Um mercado dinâmico é um mercado que não serve apenas como repositório de informação, mas em vez disso, tenta satisfazer os requisitos dos seus participantes. Um mercado dinâmico é, por exemplo, um mercado que contendo necessidades ainda não satisfeitas, é capaz de sugerir, a estes compradores, vendedores capazes de os satisfazer e que actualmente não pertencem ao mercado, mas já pertenceram. Ou então, sugerir a compra de produtos substitutos daqueles em que o comprador está interessado.

O resultado desta fase origina a criação de uma lista de potenciais parceiros de negócio, e respectiva informação relativa às suas ofertas e procuras.

3.3.2. Negociação

Qualquer mercado obriga à existência de um processo de negociação, mais ou menos complexo, para a realização de uma transacção. A negociação é o processo de determinar o preço e, eventualmente, outros termos da transacção (outros atributos além do preço, incluem forma de pagamento, prazo de entrega, garantia, serviço pós-venda, etc). É efectuado o contacto entre os potenciais parceiros, e seleccionados os pares de compradores e vendedores a incluir na transacção.

Todos os participantes do mercado possuem um valor desejado e um valor de reserva relativos à transacção de um determinado produto. Por valor desejado de um produto entende-se o valor óptimo que o agente atribui a esse produto. Por valor de reserva de um produto entende-se o valor máximo (mínimo) pelo qual o agente comprador (vendedor) está disposto a comprar (vender) o produto. A negociação de compra e venda de determinado produto inicia-se geralmente com os participantes interessados nesse produto, a tentar que este seja transaccionado ao seu valor desejado. Ao longo do processo de negociação os participantes (quer compradores, quer vendedores), vão relaxando os seus valores, de acordo com critérios próprios à sua estratégia, mas nunca ultrapassando o limite que é o seu valor de reserva. O valor de um produto não é apenas o seu preço, mas geralmente é uma função de múltiplos atributos, que são obviamente distintos de produto para produto. Por exemplo, a negociação do produto *caderno* pode ser realizada sobre múltiplos atributos: preço, cor, qualidade do papel, quantidade, etc.

De entre os diferentes processos de negociação, o leilão é sem dúvida o mais frequentemente utilizado na área do comércio electrónico. A grande aceitação deste mecanismo de negociação resulta do facto de o leilão possuir regras simples, e ser de fácil implementação

computacional. Embora a negociação seja um tópico discutido com maior detalhe no capítulo 5, apresentamos já a definição de leilão segundo McAfee e McMillan [McAfee e McMillan, 1987] (referida em [Wurman et al., 1998]):

"Um leilão é uma instituição de mercado com um conjunto explícito de regras que determinam a atribuição de recursos e preços com base em propostas emitidas pelos participantes do mercado"

3.3.3. Resolução

Esta é a fase em que é efectivada a transacção. O vendedor entrega ao comprador os produtos acordados na fase anterior, e o comprador entrega ao vendedor o respectivo pagamento.

Esta fase não termina com a troca do produto pelo respectivo pagamento, mas continua após o acto de compra e venda em si. Pode incluir ainda serviços de pós-venda, que comprometem o vendedor a prestar serviços pré-especificados durante um período de garantia. Ou pode incluir uma avaliação que o comprador (vendedor) atribui à competência demonstrada pelo vendedor (comprador), e que servirá para actualizar a sua reputação dentro do mercado.

3.4. Sistemas de Comércio Electrónico

Nesta secção, são apresentados alguns dos sistemas de comércio electrónico existentes actualmente, sendo realçadas as suas principais características, e funcionalidades. Em particular, é analisada a cobertura das diferentes fases do ciclo de vida de uma transacção de negócio. Na descrição destes sistemas, e quando tal se aplica, é referido o mecanismo de negociação utilizado. A negociação é apenas aqui referida como uma facilidade do sistema correspondente, não sendo contudo incluída qualquer descrição desse processo de negociação. A negociação é um tópico a ser discutido com algum detalhe, posteriormente, no capítulo 5.

3.4.1. Apresentação de alguns Sistemas de Comércio Electrónico

Ariba

Ariba [Ariba] é um serviço que liga compradores e vendedores, simplificando a gestão de catálogos e o encaminhamento de ordens de compra e venda. Os catálogos são ficheiros de texto que contêm a descrição de produtos ou serviços, e respectivos preços. O sistema Ariba suporta um formato de catálogo específico denominado CIF ("Catalog Interchange Format"). Os catálogos são publicados pelos fornecedores, e subscritos pelos compradores interessados. Os fornecedores podem criar catálogos públicos, que estão disponíveis para todos os compradores; ou catálogos não públicos, e designar quais os compradores que têm acesso a

esses catálogos. Sempre que um catálogo é actualizado, o sistema automaticamente notifica os compradores que o subscreveram.

Este sistema permite a selecção de compradores e vendedores para uma transacção. Essa selecção é realizada usando um mecanismo de leilão ou um mecanismo de negociação pedido/oferta. O leilão é usado nas negociações onde em um dos lados da negociação existe apenas um elemento, e na parte oposta existem múltiplos elementos (um vendedor e múltiplos compradores ou um comprador e múltiplos vendedores). A negociação onde participam múltiplos compradores e vendedores é realizada por troca de pedidos e ofertas entre eles, limitando-se o sistema a colocá-los em contacto.

Este sistema cobre a fase de negociação da transacção de negócio.

AuctionBot

Este sistema é o resultado de um projecto desenvolvido pelo laboratório de Inteligência Artificial da universidade de Michigan, e é essencialmente um servidor de leilão [AuctionBot]. Os participantes no mercado inscrevem-se neste, preenchendo uma ficha de apresentação onde indicam as suas intenções de compra ou venda e o seu correio electrónico para posterior contacto por parte do mercado. As transacções incluem múltiplas unidades de um item.

Um participante no mercado pode criar novos leilões para a negociação de um produto, seleccionando um entre uma lista leilões permitidos, e especificando os parâmetros respectivos. Este sistema disponibiliza vários tipos de leilão: leilão "Vickrey", leilão preço M, leilão preço M+1 (preço M e preço M+1 são generalizações do mecanismo clássico de primeiro e segundo preço para leilões de unidades múltiplas, onde M diz respeito ao número de unidades oferecidas para venda), e leilão duplo. Depois de criado o leilão, a negociação é automatizada pelo sistema. A comunicação de um participante com o mercado é realizada através da Web, e a comunicação do mercado com um participante é realizada por correio electrónico. Não existe comunicação directa entre dois participantes.

Um participante pode consultar o mercado em qualquer instante, para verificar quais as transacções em curso, e pode realizar novas proposta em uma transacção já existente ou iniciar uma nova transacção. O sistema colecciona as propostas existentes e, periodicamente, determina o resultado do leilão, notificando os participantes através do envio de uma mensagem por correio electrónico.

Este sistema cobre a fase de negociação da transacção de negócio.

eMediator

eMediator [Sandholm, 1999] é um servidor de comércio electrónico que permite a utilizadores, através da Internet, a compra e venda de produtos, através de um mecanismo de leilão. A negociação não incide apenas sobre itens simples, mas também sobre combinações de itens, usando leilões combinatórios. Uma leilão combinatório permite a negociação simultânea

e dependente de vários produtos. No mercado existem múltiplos vendedores e compradores. Os participantes realizam propostas não só sobre o preço do produto, mas baseadas em uma relação preço/quantidade. Isto é, quando um comprador pretende comprar uma grande quantidade de determinado produto, pode especificar que está disposto a aceitar um preço unitário mais baixo que no caso de comprar uma quantidade menor. Os tipos de leilão suportados por este sistema são o leilão de primeiro preço, o leilão de segundo preço (Vickrey), o leilão de preço M, e o leilão combinatório.

eMediator inclui também contratos com compromissos por níveis. O contrato especifica o nível do compromisso através de penalidades a aplicar a anulações do compromisso. Se um participante deseja desistir do compromisso anteriormente assumido, pode fazê-lo simplesmente por pagamento de uma penalidade à outra parte.

Este sistema cobre a fase de negociação da transacção de negócio.

FishMarket

FM96.5 [Rodríguez *et al.*, 1997] é um projecto desenvolvido pelo Instituto de Investigação de Inteligência Artificial, do Conselho de Investigação Científico Espanhol. Este projecto consiste na implementação de um mercado electrónico que simula um mercado de peixe. A negociação é realizada por um leilão holandês, onde os compradores competem por caixas de peixe, que são apresentadas por um leiloeiro que anuncia preços em uma ordem descendente. Além dos participantes directos no leilão (vendedores, compradores), existem outros agentes intermediários. O agente *leiloeiro*, gere todo o processo relativo ao leilão. O agente *patrão* do mercado é o servidor de nomes e endereços dos participantes, é o supervisor de toda a actividade decorrente da negociação, e é também a autoridade final do mercado, responsável pela resolução de qualquer conflito que possa ocorrer. Os agentes *receptor e gestor dos compradores* tratam da identidade e verificação de condições de aceitabilidade de candidatos a compradores, e dos acordos financeiros que sejam necessários realizar, respectivamente. Os agentes *receptor e gestor de vendedores* registam vendedores e produtos, e gerem as contas dos vendedores no final de cada leilão, respectivamente.

É o agente patrão do mercado que abre a actividade do mercado, especificando a identidade dos intermediários que aí irão actuar. Após estes intermediários serem activados, compradores e vendedores podem entrar no mercado.

Este sistema cobre a fase de negociação da transacção de negócio, e também parte da fase de resolução, gerindo o processo de pagamento do bem transaccionado.

Jango

Jango [Jango] ajuda um comprador na selecção de potenciais vendedores. O sistema questiona vários vendedores (inscritos em uma lista mantida por NetBot, Inc.) sobre disponibilidade, preço e outra informação relevante respeitante a um produto específico pedido

pelo comprador. Estes resultados permitem ao comprador comparar diferentes propostas de vendedores baseadas no preço. O sistema usa técnicas de filtragem baseada no conteúdo para realizar esta pesquisa, baseando-se em um conjunto de palavras chave. Não fornece qualquer ajuda na pesquisa de produtos ou na análise e comparação das respostas obtidas dos vários vendedores, apenas se limita a apresentar esta informação. O sistema inclui também uma negociação simples, baseada em leilões de um único item, disponibilizando apenas o leilão inglês e o leilão holandês.

Este sistema cobre a fase de informação da transacção de negócio, por pesquisa de potenciais fornecedores, e também trata a fase de negociação.

Kasbah

Kasbah [Chavez e Maes, 1996] é um sistema que permite a criação de agentes autónomos, compradores e vendedores, que transaccionam produtos em seu proveito. Os elementos presentes neste sistema - agentes, produtos e o próprio mercado - são representados como objectos locais, isto é, não distribuídos. A comunicação entre os agentes é realizada por invocação de métodos. Assim, todos os agentes do sistema têm de suportar, obrigatoriamente, um conjunto de métodos pré-definidos. Um agente é colocado num local de mercado, onde procura potenciais parceiros e negoceia com eles em seu proveito próprio. O objectivo de cada agente é realizar o melhor acordo possível, sujeito a um conjunto de restrições pré-especificadas pelo utilizador. Estas restrições incluem preço desejado, preço mais elevado (baixo) aceitável e data para finalização da transacção. Após a transacção estar completa, ambas as partes podem avaliar o desempenho da outra parte no acordo, e utilizar essas avaliações para determinar se estão dispostos a negociar com agentes cuja taxa de aceitação se inclui abaixo de um limite que pode ser especificado pelo utilizador.

O comportamento dos diferentes agentes na negociação (que determina o valor do produto a transaccionar), varia de acordo com parâmetros especificados pelo projectista do agente. Estes parâmetros são:

- para o agente vendedor
  - data para venda do produto
  - preço desejado
  - preço mínimo aceitável
  - aviso para aprovação do utilizador relativo a preço final
- para o agente comprador
  - preço desejado
  - preço máximo aceitável
  - data para compra do produto

Os produtos disponíveis são descritos por um vector de características.

Quando um agente é adicionado ao mercado, é notificado de quais os agentes que estão interessados em comprar (vender) os produtos que este novo agente vende (compra). Quando um agente sai do mercado, os outros agentes são notificados desse facto.

A negociação é realizada de uma forma directa entre compradores e vendedores. Após ser realizada a correspondência entre compradores e vendedores, os compradores (ou vendedores) apresentam propostas aos seus oponentes, que aceitam ou não tal proposta. A negociação é realizada em múltiplas rondas, em que os agentes vão relaxando os seus valores. A termina quando uma proposta é aceite, ou é atingido o valor limite da negociação dos agentes, caso em que a negociação falha. Os agentes compradores e vendedores podem apresentar uma de três estratégias de negociação: ansioso, calmo e moderado (corresponde a uma função para alteração das propostas ao longo do tempo linear, quadrática e exponencial, respectivamente). A negociação entre os agentes do mercado é realizada seguindo o seguinte procedimento para o agente vendedor (comprador) *Agt*:

- O agente *Agt* determina o seu preço corrente. Este preço é calculado com base em uma função decrescente (crescente): à data de iniciação do agente, o preço corrente é igual ao preço desejado; à data limite de venda (compra), o preço corrente é o preço mínimo (máximo) aceitável; em qualquer outro instante, o preço corrente é determinado pela função que define a estratégia de negociação do agente.
- O agente contacta um potencial comprador (vendedor) exactamente uma vez por ronda. Em um instante de cada ronda de negociação, de entre aqueles ainda não contactadas nessa ronda, é escolhido o agente mais promissor, i.e., aquele que ofereceu anteriormente um preço mais elevado (baixo). O agente *Agt* oferece o seu preço actual. Se o agente contactado aceita, o acordo está terminado; senão, o agente *Agt* questiona este agente sobre o seu preço, e guarda esse valor. A ronda de negociação é retomada, para os outros agentes ainda não contactados.

Este sistema cobre parte da fase de informação da transacção de negócio, incluindo a capacidade de pesquisa de parceiros, por correspondência entre os bens que estes indicam querer comprar ou vender. O sistema cobre também a fase de negociação.

MAGMA

MAGMA (Minnesota AGent Marketplace Architecture) [Tsvetovatyy *et al.*, 1997] é uma arquitectura desenvolvida na universidade de Minnesota, que pretende simular o funcionamento de um mercado real.

Esta arquitectura inclui quatro tipos de agentes: *agentes de comércio*, *servidor de publicidade*, *banco* e *servidor de comunicações*.

- Agentes de comércio

  Estes agentes são responsáveis pela compra e venda de produtos. Para a negociação dos preços de transacção dos produtos é utilizado o leilão "Vickrey".

  A arquitectura destes agentes inclui quatro módulos distintos: depósito, inventário, gestor de publicidade e negociador. O depósito é o módulo responsável pelo armazenamento de informação relativa a contas de banco, cheques e pagamentos efectuados a outros agentes. Este módulo efectua também operações automatizadas de abertura e fecho de contas, depósito e levantamento de cheques. O inventário armazena informação sobre todos os produtos que o agente possui. O gestor de publicidade envia a publicidade, relativas à venda de bens existentes no inventário, para o agente *servidor de publicidade*. É ainda responsável pela remoção e actualização de publicidade anterior. O negociador gere o processo de negociação de preços, onde é aplicado o mecanismo de leilão "Vickrey". É o negociador que determina quais os parceiros a incluir na negociação, por indicação do agente *servidor de publicidade*.

- Servidor de publicidade

  Efectua a pesquisa e recolha de informação relativa a produtos. Usa uma base de dados simples indexada por categoria e um mecanismo de pesquisa. A informação inscrita na base de dados contém palavras chave para pesquisa, descrição do produto, preço e página URL com informação adicional para o comprador.

- Banco

  Fornece um conjunto de serviços bancários básicos, incluindo a verificação de contas, linhas de crédito e dinheiro electrónico.

  Quando um agente necessita efectuar um pagamento, o banco verifica a existência de fundos suficientes na conta do agente e emite o cheque respectivo. Quando é necessário efectuar o movimento de algum cheque, verifica a validade do cheque e transfere o dinheiro entre as contas respectivas.

  As contas encontram-se protegidas por assinatura digital, restringindo o acesso apenas ao seu titular.

- Servidor de comunicações

  Todos os agentes são funcionalmente independentes e comunicam uns com os outros através de ligação por "sockets". O servidor de comunicações funciona como um ponto central para a comunicação entre os agentes do mercado, e efectua o encaminhamento de mensagens entre agentes com base em nomes únicos.

Este sistema cobre parte da fase de informação da transacção de negócio, incluindo a pesquisa de parceiros, por correspondência entre os bens que estes indicam querer comprar ou vender. O sistema cobre também a fase de negociação.

PersonaLogic

PersonaLogic [PersonaLogic] ajuda os compradores na determinação de quais os produtos que satisfazem as suas necessidades. O sistema guia os compradores através de um espaço de dimensão elevada de características, limitando a escolha dos compradores a um subconjunto de produtos considerados mais relevantes. O processo usado consiste em uma filtragem em um domínio específico, pela consideração de restrições nas características dos produtos previamente especificadas pelo comprador. O resultado é uma lista ordenada de apenas aqueles produtos que satisfazem todas as restrições. O sistema PersonaLogic também é capaz de apresentar ao comprador produtos alternativos, avaliando-os através de técnicas de satisfação de restrições.

Este sistema cobre parte da fase de informação da transacção de negócio, auxiliando o comprador na pesquisa de produtos.

SMACE

SMACE ("Sistema Multi-Agente para Comércio Electrónico") [Cardoso e Oliveira, 2000] é um sistema onde os utilizadores delegam intenções de compra ou venda de produtos em agentes de "software", que se encarregam de negociar de forma automática com outros agentes de modo a atingir o seu objectivo. Estes agentes de "software" podem estar localizados em máquinas potencialmente remotas, interagindo com o mercado através da Internet.

O sistema suporta um modelo de negociação multi-lateral (vários agentes compradores e vendedores negoceiam simultaneamente entre si) e multi-atributo (a negociação pode decorrer sobre um conjunto de não um único, mas múltiplos atributos).

O mecanismo de negociação usado neste sistema é baseado em um conjunto de *tácticas*, sendo as propostas trocadas entre compradores e vendedores uma combinação linear destas tácticas. Este mecanismo de negociação é descrito no capítulo 5 (Negociação). Aqui apenas referimos, para compreensão do sistema SMACE, que as tácticas definem o comportamento de um agente de uma forma heurística e podem ser de três tipos: dependentes do tempo, de recursos, ou do comportamento dos outros. Convém referir que um agente no sistema SMACE, é capaz de aprender qual a melhor combinação de tácticas a usar na formulação de propostas. A negociação multi-atributo é, na prática, traduzida em uma negociação sobre um valor único, valor este que resulta de uma função de avaliação que é definida como uma soma ponderada das utilidades pré-definidas para os vários atributos.

O SMACE foi desenvolvido totalmente em linguagem Java, e utiliza ainda a plataforma JATLite para a comunicação entre os agentes, que trocam mensagens no formato KQML.

Este sistema cobre a fase de negociação da transacção de negócio.

Tête-à-Tête

Tête-à-Tête [Guttman, 1998] é um sistema de comércio electrónico que permite aos participantes considerar outros atributos além do preço na descrição de produtos mais complexos, e também na negociação. A negociação é um processo bilateral com argumentação, onde um comprador negoceia com múltiplos vendedores, e usa um módulo de suporte de decisão baseado em uma função de utilidade multi-atributo. O sistema ajuda o comprador em outras duas questões importantes: o que comprar e a quem comprar. Assim, Tête-à-Tête integra duas subfases da fase de informação: pesquisa de produtos e pesquisa de vendedores; e também a fase de negociação. Utiliza técnicas de satisfação de restrições, sendo estas especificadas pelos compradores na indicação do produto. Estas restrições são usadas na filtragem e ordenação de produtos e vendedores (fases de pesquisa de produtos e pesquisa de vendedores), e posteriormente também na construção da função de utilidade usada na fase de negociação.

Um produto é decomposto em um conjunto de características (por exemplo, o produto computador é decomposto nas características: monitor, teclado, processador, etc.), e cada característica em um conjunto de atributos (por exemplo, a característica monitor é decomposta nos atributos: resolução, taxa de refrescamento, etc.). O processo de negociação compreende a troca de propostas, críticas e contra-propostas. O comprador inicia o processo de negociação, enviando um anúncio a todos os vendedores capazes de o satisfazer. Neste anúncio, o comprador indica aos vendedores as suas preferências sobre o item a comprar, através das funções de utilidade quer para os atributos de cada uma das características, quer para as características em si. A utilidade final é uma soma ponderada do valor médio das utilidades de cada uma dessas características. Os vendedores respondem com uma proposta que é enviada apenas aos emissores do anúncio, e não a todos os participantes no mercado (negociação fechada). Após receber uma série de propostas, o comprador avalia-as e ordena-as de acordo com o seu valor de utilidade. Se este não está satisfeito com as propostas recebidas, pode construir uma crítica sobre um ou mais atributos. Esta crítica é enviada aos vendedores que usam agora essa informação para formular contra-propostas.

De referir ainda que o Tête-à-Tête se tornou um produto comercial sob o nome de Frictionless [Frictionless].

Este sistema cobre parte da fase de informação da transacção de negócio, incluindo a pesquisa de produtos e fornecedores, e também a fase de negociação.

3.4.2. Análise comparativa

A tabela seguinte (Tabela 5) apresenta a cobertura das diferentes fases do ciclo de vida de uma transacção de negócio, pelos sistemas apresentados na secção anterior.

Ciclo de Vida / *Sistema*	Informação			Negociação	Resolução
	Identificação necessidade	Pesquisa produtos	Pesquisa fornecedores		
Ariba	×	×	×	leilão troca pedido/oferta	×
AuctionBot	×	×	×	leilão (vários: duplo, múltiplos itens,)	×
eMediator	×	×	×	leilão (Vickrey, preço M, combinatório)	×
FishMarket	×	×		leilão (Holandês)	√
Jango	×	×	correspondência	leilão (inglês, holandês)	×
Kasbah	×	×	correspondência	directa e bilateral	×
MAGMA	×	×	correspondência	leilão (Vickrey)	×
PersonaLogic	×	satisfação restrições	×	×	×
SMACE	×	×	×	função utilidade multi-atributo tácticas	×
Tête-à-Tête	×	satisfação restrições	satisfação restrições	função utilidade multi-atributo	×

Tabela 5. Sistemas de Comércio Electrónico e suporte do ciclo de vida

Por análise desta tabela, verifica-se que a (sub)fase inicial (identificação de necessidade) não é tratada por nenhum sistema. Todos os sistemas assumem que a necessidade de comprar ou vender determinado bem é introduzida no sistema pelo próprio participante (comprador ou vendedor). Uma outra hipótese seria aliciar o comprador por anúncio de promoções ou lançamento de novos produtos do seu interesse, ou ainda estimular o vendedor a fornecer um tipo de produto que se verifica estar a ser requerido pelo mercado em elevada quantidade.

Apenas um dos sistemas analisados, *FishMarket*, trata a fase final da transacção (resolução), pelo menos em parte. Embora a entrega física da mercadoria não seja gerida pelo sistema, o processo de pagamento é. O sistema inclui na sua arquitectura uma unidade de

crédito que, no momento em que comprador e vendedor acordam o preço da lota de peixe, efectua o pagamento respectivo, retirando da conta do comprador a quantia estipulada.

A fase de negociação é tratada por quase todos os sistemas (excepto *PersonaLogic*), sendo o leilão o mecanismo mais frequentemente utilizado. Esta opção resulta essencialmente de o leilão ser um processo de negociação que possui regras claras para todos os participantes, e é de fácil implementação computacional. Uma enorme desvantagem do uso de leilão é o facto de não permitir a negociação de produtos complexos, pois só permite discutir um dos muitos atributos do produto a negociar, geralmente o preço. Apenas os sistemas *SMACE* e *Tête-à-Tête* incluem negociação multi-atributo.

Relativamente ao uso de uma entidade intermediária em sistemas de comércio electrónico, e à classificação anteriormente atribuída a estas entidades, a tabela seguinte (Tabela 6) sumaria a sua existência nos sistemas discutidos na secção anterior.

Sistema	*Intermediário*
Ariba	×
AuctionBot	Mediador
eMediator	Mediador
FishMarket	Quadro
Jango	Adaptador
Kasbah	Adaptador Quadro
MAGMA	Adaptador
PersonaLogic	Adaptador
SMACE	Mediador
Tête-à-Tête	Adaptador

Tabela 6. Uso de intermediário em sistemas de Comércio Electrónico

Nos sistemas *AuctionBot* e *eMediator* o intermediário possui a função de mediador. O mediador aceita os pedidos dos compradores (bem como estratégias de comportamento) e as ofertas dos vendedores (bem como estratégias de comportamento), e através de um mecanismo de leilão tenta estabelecer um acordo. Quando o acordo é estabelecido, os respectivos compradores e vendedores são informados do conteúdo desse acordo. O sistema *SMACE* inclui igualmente um intermediário com a função de mediador, cuja função é colocar em contacto os compradores e vendedores que demonstraram interesse em transaccionar o mesmo tipo de produto.

No sistema *FishMarket*, a função da entidade "quadro negro" é simplesmente informar os vendedores de peixe de quais os potenciais compradores para esse tipo de produto. Os vendedores (ou o leiloeiro em sua representação), iniciam então o processo de negociação com esta lista de potenciais compradores, que conduz à selecção de um deles.

Nos sistemas *Jango, Kasbah, MAGMA, Tête-à-Tête e PersonaLogic*, a função do adaptador é identificar uma lista de potenciais vendedores, por pedido de um comprador. O adaptador tenta encontrar um conjunto de vendedores capazes de oferecer produtos que satisfaçam as especificações do comprador. O comprador inicia então uma negociação (ou efectua uma selecção simples) para determinar o vendedor que melhor satisfaz a sua necessidade.

No sistema *Kasbah*, a entidade intermediária também possui a função de "quadro negro", pois este sistema tanto selecciona uma lista de potenciais vendedores que obedeçam a especificações de um comprador, como efectua o processo inverso, isto é, selecciona uma lista de compradores, que obedeçam a especificações de um vendedor.

3.5. O Comércio Electrónico e a Empresa Virtual

O comércio electrónico foi apresentado, nas secções anteriores, como o suporte electrónico de processos de interacção entre compradores e vendedores geograficamente distribuídos, que culminam em um acordo relativamente aos termos em que ocorre a transacção de determinado produto.

Uma das fases do ciclo de vida da Empresa Virtual é a selecção de parceiros a incluir nessa Empresa Virtual. O comércio electrónico pode ser usado com sucesso neste procedimento de selecção, onde os participantes agora não são compradores e vendedores individuais, mas sim empresas. O objecto da transacção não é geralmente um bem final, mas um bem que se insere em uma cadeia de produção. Este novo tipo de comércio é denominado de "comércio negócio-a-negócio", por oposição ao primeiro que é designado de "comércio negócio-a-consumidor".

O comércio "negócio-a-negócio", e em particular, o comércio realizado com o objectivo de seleccionar um conjunto de parceiros a incluir em uma Empresa Virtual levanta um novo desafio relativamente ao processo de negociação, que é a existência de negociações simultâneas e dependentes (ver Figura 11).

A empresa virtual é responsável pela realização de uma tarefa, que é decomposta em n sub-tarefas, a atribuir a um conjunto de empresas consideradas mais competentes. Para a selecção dessas empresas, são realizadas n negociações em simultâneo, uma para cada uma dessas sub-tarefas.

As sub-tarefas consideradas são geralmente dependentes, e essa dependência tem de ser tratada na fase de selecção das empresas que as irão executar. Tal facto torna o processo de

negociação mais complexo que no caso do comércio de um produto simples ("negócio-a-consumidor").

Na Figura 11, está representada a necessidade de incluir na Empresa Virtual as tarefas T_a (realizável pela $Empresa_2$ e $Empresa_4$), T_b(realizável pela $Empresa_1$) e T_c(realizável pela $Empresa_3$). As tarefas T_a e T_b são dependentes, informação esta que é transmitida ao agente responsável pela formação da Empresa Virtual (EV) quando do envio de uma proposta, por parte de um agente empresa, para a execução da tarefa correspondente. O agente EV irá então colocar em contacto os agentes empresa respectivos ($Empresa_1$ e $Empresa_2$; e ainda $Empresa_1$ e $Empresa_4$) que irão resolver as dependências entre si.

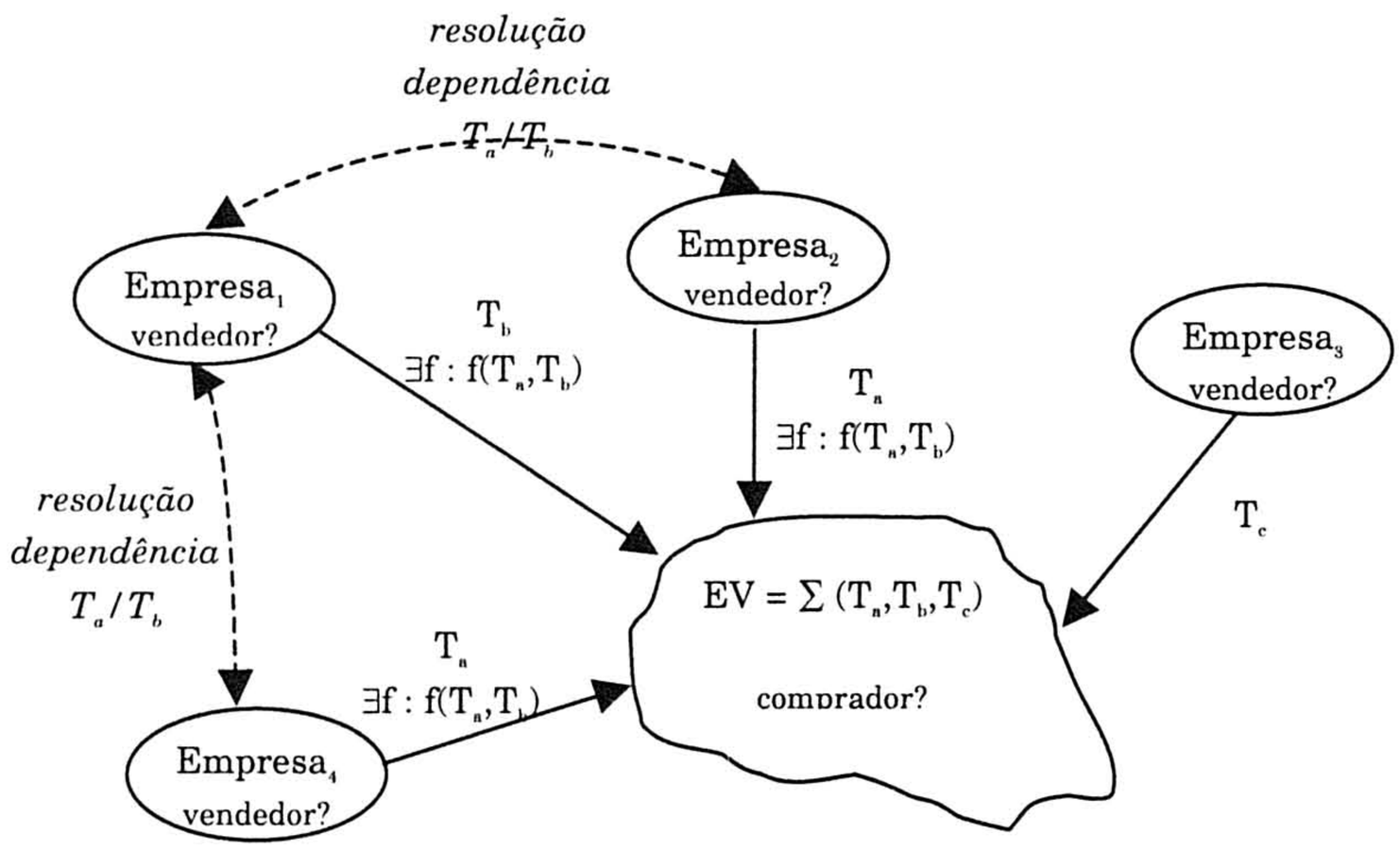


Figura 11. Comércio Electrónico na fase de formação da EV

Este assunto é discutido no capítulo 6, onde é apresentada uma proposta de resolução.

3.6. Conclusão

O comércio tradicional refere-se ao estabelecimento de transacções negociais onde os participantes se encontram pessoalmente em determinado local físico. Aí negoceiam entre eles os termos contratuais para compra ou venda de determinado produto.

Neste capítulo, apresentamos o comércio electrónico como um nova forma de realizar comércio, que surgiu em consequência do desenvolvimento exponencial das tecnologias de informação e comunicação. Destas novas tecnologias, destaca-se em particular, a rede pública de comunicação Internet, porque é acessível para todos, é de utilização fácil, e apresenta um custo reduzido. A Internet é o suporte de comunicação para a grande parte dos sistemas de comércio electrónico existentes.

Apresentamos também alguns dos sistemas de comércio electrónico existentes, enumeramos as suas características principais, e realizamos uma análise comparativa entre eles.

Como conclusão, sumariamos nos pontos seguintes algumas das principais características que o comércio electrónico exibe, e que representam uma vantagem sobre o comércio tradicional:

- Redução de custo para compradores e vendedores

  As redes de comunicação actuais, porque são de fácil acesso e custo reduzido, permitem que compradores efectuem uma pesquisa completa sobre os produtos e vendedores que mais os satisfaçam. Os vendedores, por outro lado, reduzem o custo de comunicar ou publicitar os seus produtos a um maior número de potenciais compradores.

- Disponibilidade permanente

  O mercado electrónico está a funcionar em permanência. Compradores e vendedores podem aceder à informação do mercado 24 horas por dia, não estando sujeitos a restrições de horário de funcionamento.

- Elevado número de participantes

  Qualquer indivíduo ou entidade pode, em princípio, participar no comércio electrónico, bastando para isso que aceda à rede de comunicação que o suporta, e obedeça às regras impostas para a sua participação. Geralmente, a rede de comunicação que suporta um qualquer sistema de comércio electrónico, é uma rede pública, o que permite um elevado número de participantes. Este facto conduz também à característica seguinte (competição).

- Competição

  Devido à existência de um elevado número de participantes, a competição é incrementada, o que origina melhores resultados em termos negociais.

- Descentralização

  Os participantes na actividade económica não são obrigados a permanecer em um local central. Podem estar fixados em locais muito distantes uns dos outros, embora virtualmente se encontrem na rede de comunicação que suporta o mercado electrónico.

- Comodidade

  Os compradores podem procurar os produtos que pretendem adquirir, e comparar preços ou outros atributos, sobre uma quantidade de informação muito extensa, sem necessidade de sair de suas casas. Também os vendedores, não necessitam deslocar-se para nenhum local de mercado fixo, para colocar novos produtos para venda, ou actualizar informação sobre produtos existentes.

Por todas estas razões foram desenvolvidos sistemas automáticos que permitem o comércio electrónico, os quais, para além da sua aplicabilidade imediata, sugerem metodologias de suporte à constituição de Empresas Virtuais.

Capítulo 4

Sistema Multi-Agente

Os requisitos descritos para o desenvolvimento de uma Empresa Virtual implicam necessariamente, o uso de capacidades distribuídas, cujos projecto, implementação, operação e reconfiguração permitam a integração de competências em uma rede dinâmica. Tais capacidades podem ser realizadas com sucesso através de aproximações orientadas ao agente e sistemas multi-agentes.

Na parte inicial deste capítulo, é feita uma introdução aos conceitos de agente e sistema multi-agente, focando as suas características essenciais, e requisitos próprios. A parte final do capítulo apresenta uma proposta de um sistema multi-agente para a modelação do mercado electrónico que suporta a existência de uma Empresa Virtual. Aqui é ainda descrita a arquitectura dos agentes existentes nesse mercado electrónico, e é também apresentada a ontologia adoptada.

4.1. Noção de Agente

A tecnologia baseada em agentes é um paradigma sofisticado no projecto de sistemas de software onde as entidades já não são vistas como elementos computacionais simples com estruturas de interacção pré-definidas. Em vez disso, estamos frequentemente a falar de entidades que revelam um comportamento próprio quando inseridas em um determinado ambiente, e que coordenam elas próprias as suas acções com base em conhecimento explícito sobre acções possíveis e suas consequências, sobre o ambiente que as rodeia e sobre os outros agentes.

Não existe uma definição comum, na literatura, para a noção de agente. Contudo, a maior parte das definições aceita como ponto fulcral o facto de um agente ser uma entidade computacional com capacidade de raciocínio. Ao longo deste trabalho, vamos seguir a definição de agente apresentada por Wooldridge e Jennings [Wooldrige e Jennings, 1995]. Estes autores realizam uma distinção clara entre a noção fraca e a noção forte de agente.

A *noção fraca de agente*, que deriva essencialmente das áreas da computação distribuída, e inteligência artificial distribuída, vê o agente como um paradigma de automação da cooperação em ambientes distribuídos. Assim, um agente é definido como uma entidade computacional resolvente de problemas, que exibe as propriedades de:

- Autonomia

  Um agente executa as suas tarefas sem intervenção directa do humano ou de outros agentes. Possui controlo sobre as suas próprias acções e sobre o seu estado interno.

- Sociabilidade

  O agente interage com outros agentes ou com o humano no sentido de finalizar a resolução de um seu problema ou ajudar os outros na sua actividade. Esta função requer a existência de um meio de comunicação que permita aos agentes informar os outros de quais são os seus requisitos; e um mecanismo interno de decisão sobre como e quando as interacções com os outros são apropriadas.

- Reactividade

  O agente observa o ambiente e responde em tempo útil a alterações que nele ocorram.

- Pró-actividade

  O agente não actua apenas em resposta à observação do ambiente, mas possui objectivos e exibe comportamento oportunista, sendo capaz de tomar a iniciativa sempre que apropriado.

- Racionalidade

  Um agente deve actuar racionalmente na tentativa de satisfação dos seus objectivos, tentando maximizar o seu desempenho, relativamente a uma função de avaliação própria.

A *noção forte de agente*, que deriva essencialmente da área da inteligência artificial, envereda por uma visão antropomórfica, onde um agente é visto como uma entidade cognitiva e com consciência, que é capaz de exibir sentimentos, percepções e emoções, à semelhança dos humanos. Assim, um agente apresenta as seguintes propriedades:

- Conhecimento e Crença

  Possuir *conhecimento* é muito mais que possuir informação, é não apenas a colecção de informação de uma forma dinâmica, mas também o raciocínio sobre essa informação. É necessário definir qual a melhor estratégia de raciocínio a aplicar em uma determinada situação, e porquê (meta-conhecimento). Uma *crença* representa a noção actual que o agente possui sobre determinado facto. As crenças são geralmente dinâmicas, isto é, podem alterar o seu valor de verdade com o tempo.

- Intenções e Obrigações

  Intenções são objectivos que o agente possui a longo prazo, e que resultam em padrões de comportamento que levam à execução de acções individuais. As *obrigações* estão relacionadas com compromissos que o agente assumiu. A partir do momento que o agente expressou a sua disponibilidade para executar determinada tarefa, é responsável por realizar as acções necessárias para tal.

- Veracidade e Benevolência

  Um agente deve ser sempre *verdadeiro*. *Benevolência* significa que o agente não deve assumir um comportamento contra-produtivo, mas, antes pelo contrário, deve tentar sempre satisfazer os pedidos que lhe são dirigidos.

Um agente será, portanto, tanto mais cognitivo quanto maior número destas características incluir.

4.1.1. Arquitecturas de agente

A Inteligência Artificial classifica os agentes computacionais em três grandes categorias: agentes deliberativos, agentes reactivos e agentes híbridos [Wooldridge e Jennings, 1994].

- ***Agente deliberativo***

  Um agente deliberativo possui um modelo simbólico explícito do mundo, e realiza as suas decisões (selecção de qual acção executar num instante próximo) 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 (ver Figura 12). Na construção de tais agentes, colocam-se dois importantes problemas:

  - A representação do mundo: como traduzir o mundo real para uma descrição simbólica em tempo útil.
  - O problema de raciocínio: como simbolicamente representar a informação sobre os processos e entidades existentes no complexo mundo real, e como levar os agentes a raciocinar sobre essa informação em tempo útil.

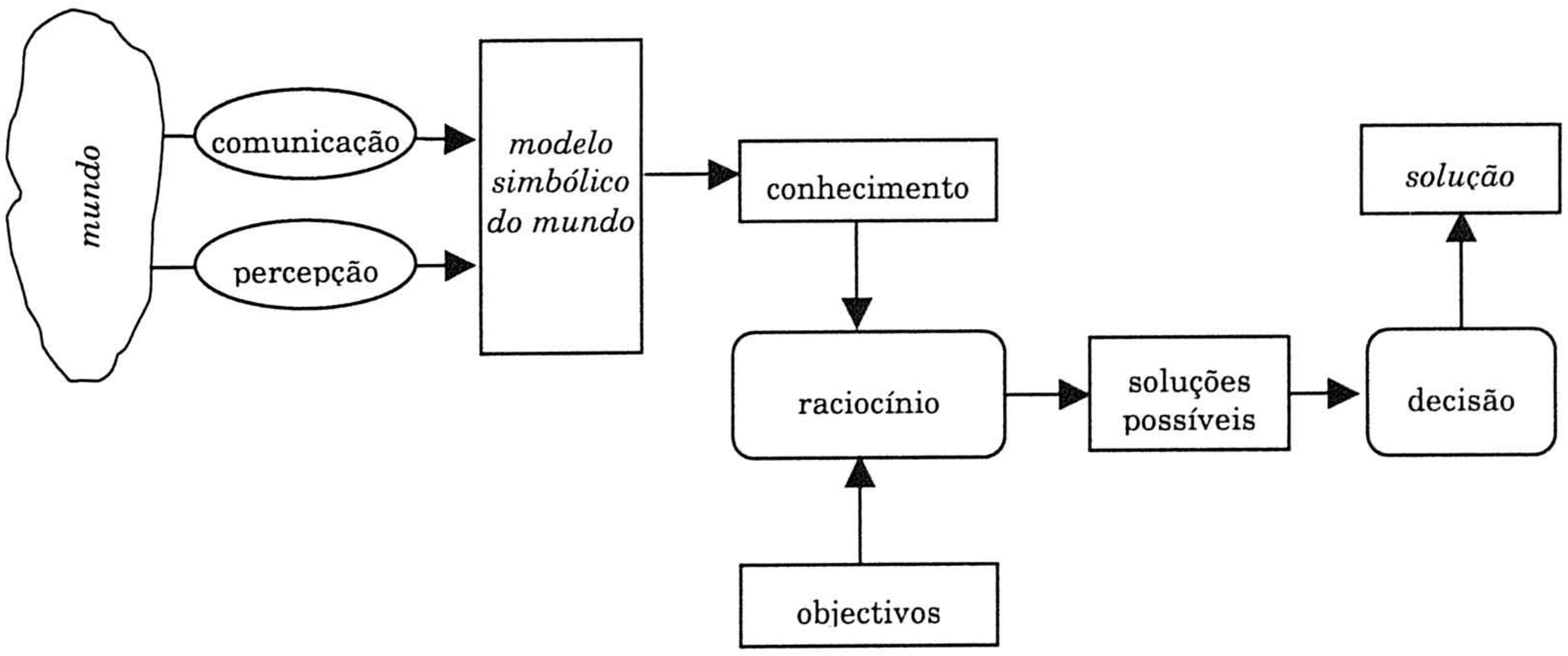


Figura 12. Representação de um agente deliberativo genérico

- ***Agente reactivo***

  Um agente reactivo não inclui qualquer modelo simbólico do mundo, nem requer raciocínio simbólico complexo. O agente comporta-se como um autómato inserido no ambiente que o rodeia, baseado em uma lógica modal do conhecimento.

O agente reactivo realiza as suas decisões "em tempo real", geralmente com base em um conjunto de informação muito limitado, e regras simples de situação/acção que têm o nome de comportamentos. Não necessita de qualquer representação simbólica do mundo, efectuando todas as suas decisões com base em informação proveniente de sensores (ver Figura 13).

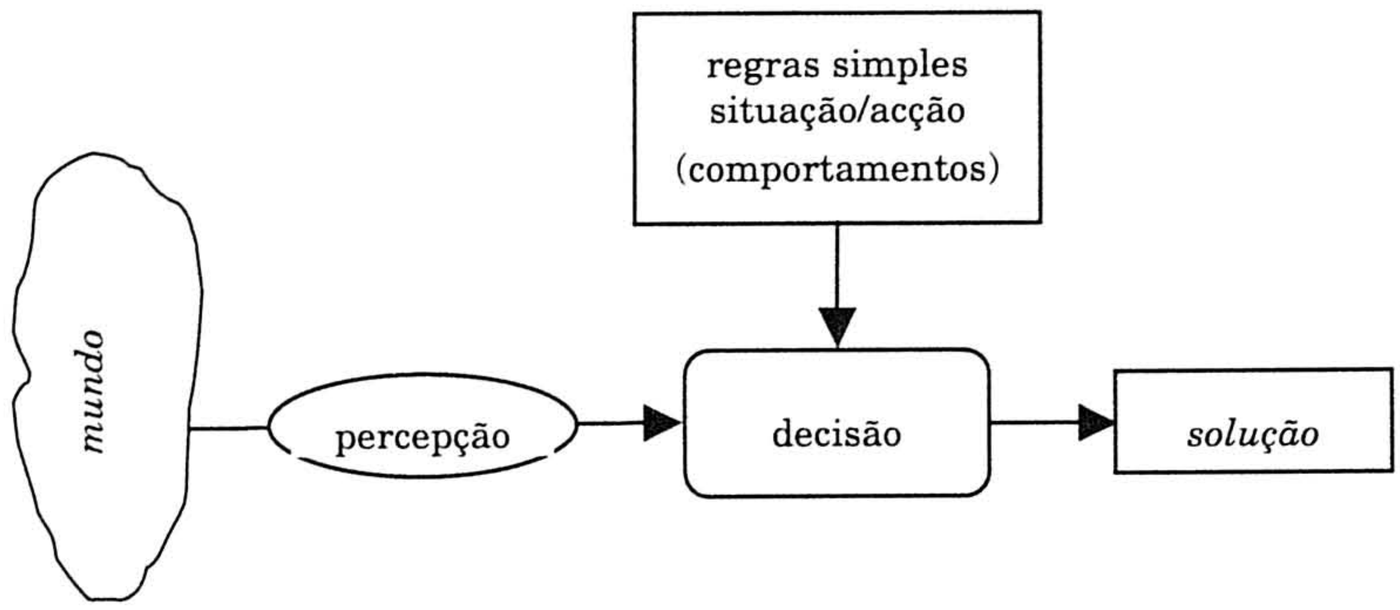


Figura 13. Representação de um agente reactivo genérico

- ***Agente híbrido***

  Enquanto os agentes puramente reactivos têm uma limitação muito importante, que é a dificuldade em implementar comportamento direccionado a um objectivo, os agentes puramente deliberativos são baseados em mecanismos de raciocínio muito complexos e tornam-se, por vezes, incapazes de uma reacção imediata a estímulos do exterior.

  Um agente híbrido combina estas duas componentes, e caracteriza-se por uma arquitectura composta por níveis ou camadas. A possibilidade de realizar uma disposição por níveis é uma ferramenta poderosa de estruturar as funcionalidades e controlo do agente. A ideia principal é categorizar as funcionalidades do agente em camadas dispostas hierarquicamente onde geralmente a camada reactiva tem alguma prioridade sobre a camada deliberativa, de modo a permitir uma resposta rápida aos eventos mais importantes detectados no ambiente (ver Figura 14).

  Neves e Oliveira [Neves e Oliveira, 2000] propõem esta solução para controlar um robô móvel deslocando-se em ambientes não totalmente previsíveis. A componente deliberativa tem aqui como função guiar o comportamento da componente reactiva, através de sugestões de planos a realizar, ou mesmo alterando as regras de situação/acção que esta componente reactiva contém. Poderá no entanto a componente reactiva, em certas situações de emergência, sobrepor-se à componente deliberativa.

  Os agentes híbridos, e porque a sua arquitectura apresenta uma disposição de componentes em níveis, podem ser incrementados dinamicamente, por adição de planos que são criados quando ocorrem eventos externos específicos, ou alterações no estado interno do agente.

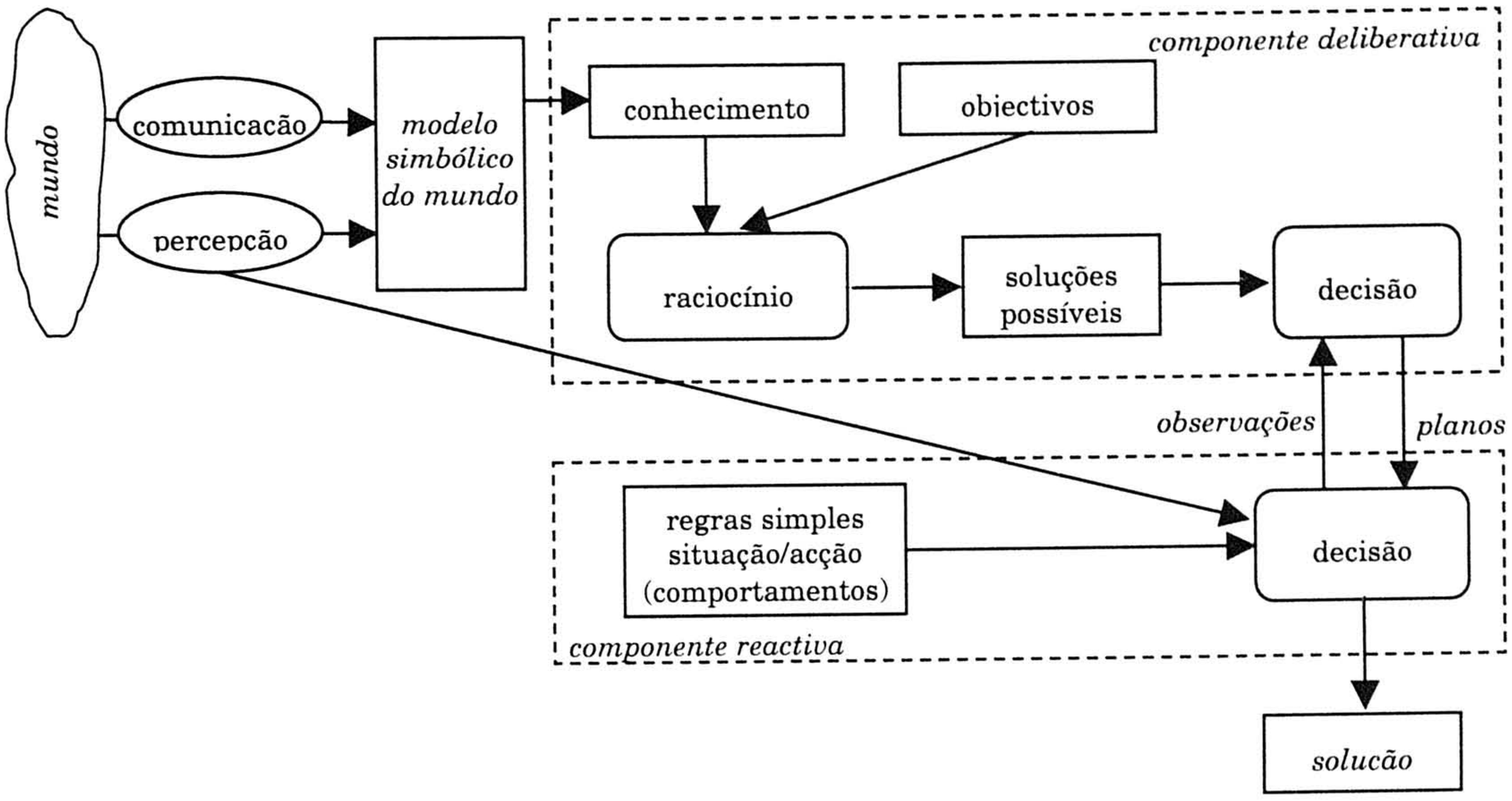


Figura 14. Representação de um agente híbrido genérico

4.1.2. A arquitectura "BDI"

Dos três tipos de agentes referidos, o agente deliberativo é o que mais se aproxima do tipo de agentes que utilizamos no nosso trabalho. A arquitectura BDI revela-se particularmente importante na discussão do presente trabalho, e por isso é incluída nesta secção uma breve descrição da mesma.

A arquitectura BDI ("Belief-Desire-Intention") [Rao e Georgeff, 1991] é uma arquitectura deliberativa, onde os chamados "estados mentais" do agente apresentam um papel central. A ideia básica desta aproximação é o conseguir descrever o estado interno de processamento de um agente através de um conjunto de "estados mentais", e definir a arquitectura de controlo através da qual o agente selecciona o seu curso de acção. Os "estados mentais" adoptados na definição das arquitecturas BDI, diferem de autor para autor. Todavia, a noção de *crença* ("belief"), *desejo* ("desire") e *intenção* ("intention") são aceites unanimemente, até porque estão na origem do nome atribuído a esta classe de arquitecturas de agentes. No entanto, convém referir que o "estado mental" *intenção* não é visto como um estado básico por Cohen e Levesque [Cohen e Levesque, 1990], que optam por o caracterizar em termos de crenças e objectivos. Uma breve descrição de cada um destes conceitos é apresentada nos pontos seguintes.

- ***Crença***

  As crenças de um agente referem-se ao que o agente acredita ser possível em determinado momento, e descrevem a perspectiva do agente sobre o estado do ambiente.

  As crenças representam informação.

  Um outro conceito relacionado com a crença é o conceito de conhecimento. O *conhecimento* do agente é geralmente definido como sendo uma crença verdadeira.

- ***Desejo***

  Os desejos de um agente referem-se ao que o agente deseja obter, não necessitando conhecer como o realizar. Os desejos podem ser, num dado momento, inconsistentes.

  Os desejos representam motivos.

  Um outro conceito relacionado com o desejo é o conceito de objectivo.

  Os *objectivos* de um agente resultam de um processo de raciocínio, por parte do agente, que consiste em uma escolha de um subconjunto dos desejos que são consistentes e atingíveis.

- ***Intenção***

  As intenções referem-se a um conjunto de acções ou tarefas que o agente seleccionou, comprometendo-se assim na realização dos seus objectivos. As intenções devem ser consistentes internamente.

  As intenções representam o resultado da deliberação.

O comportamento de um agente "BDI" é ditado pelas relações existentes entre os três "estados mentais" básicos: crença, desejo e intenção. Na literatura são identificados três tipos de comportamento nestes agentes [Rao e Georgeff, 1995]:

- *Realismo forte*

  O conjunto de intenções é um subconjunto do conjunto de desejos, que é, por sua vez, influenciado por um subconjunto das crenças. Quer isto dizer que se um agente não acredita em algo, nunca irá desejar ou intencionar esse algo.

  $$DESEJA(p) \Rightarrow ACREDITA(p)$$

  $$INTENTA(p) \Rightarrow DESEJA(p)$$

- *Realismo*

  O conjunto de crenças é um subconjunto do conjunto dos desejos que é, por sua vez, influenciado por um subconjunto do conjunto de intenções. Quer isto dizer que se um agente acredita em algo, então deseja e intenta esse algo.

  $$ACREDITA(p) \Rightarrow DESEJA(p)$$

  $$DESEJA(p) \Rightarrow INTENTA(p)$$

- *Realismo fraco*

  É o caso entre o realismo forte e o realismo. O agente não deseja algo se a negação desse algo é acreditada; não intenta algo se a negação desse algo é desejada; e não intenta algo se a negação desse algo é acreditada.

  $$DESEJA(p) \Rightarrow \sim ACREDITA(\sim p)$$

  $$INTENTA(p) \Rightarrow \sim DESEJA(\sim p)$$

  $$INTENTA(p) \Rightarrow \sim ACREDITA(\sim p)$$

A arquitectura genérica de um agente BDI [Wooldridge, 1999] é constituída por sete componentes: conjunto de crenças, função de revisão de crenças, função de geração de opções, conjunto de opções, função de filtragem e função de selecção de acção (ver Figura 15).

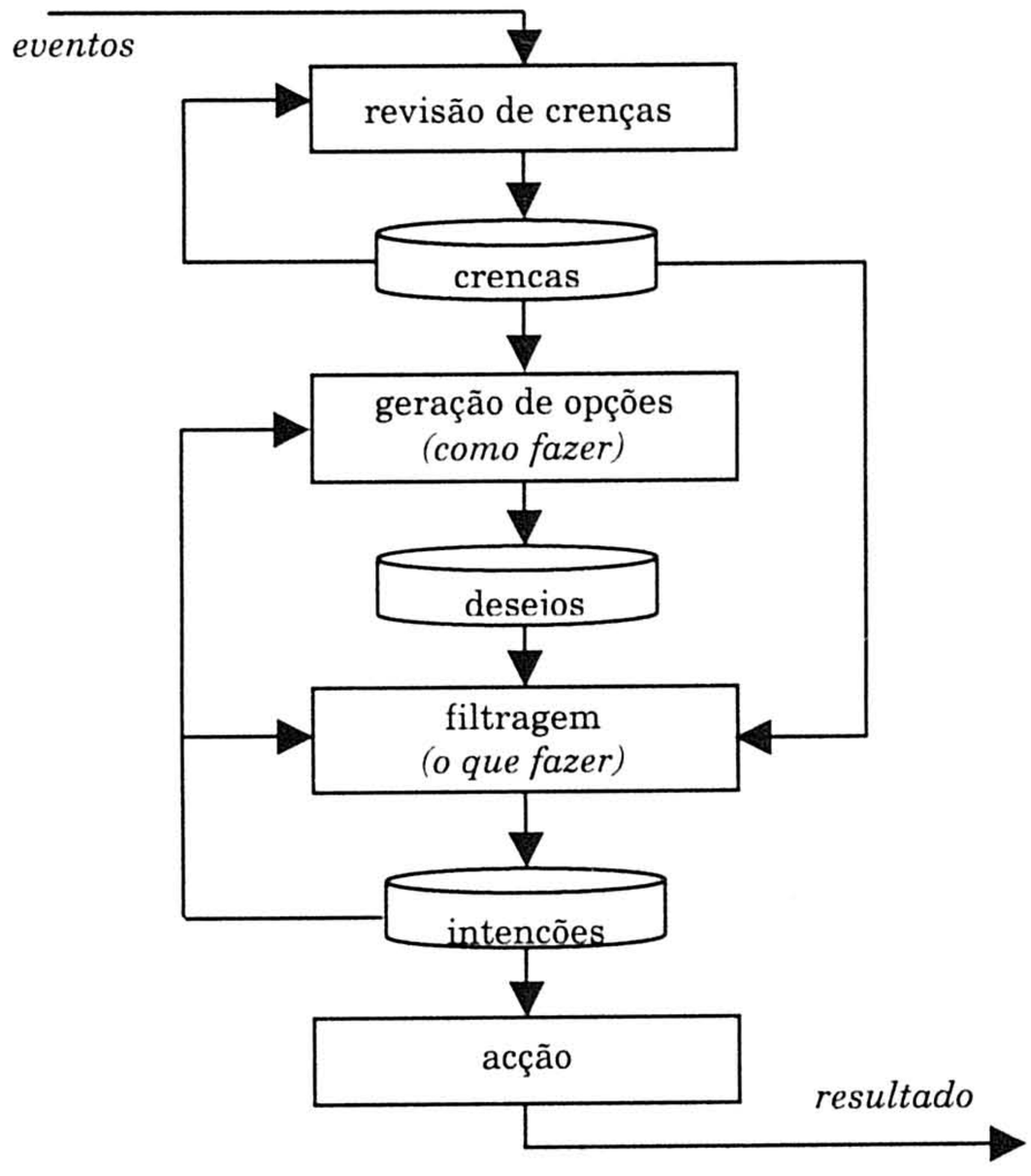


Figura 15. Diagrama de uma arquitectura BDI genérica

Os componentes presentes em uma arquitectura BDI são descritos nos pontos seguintes:

- *Conjunto de crenças*

  Representa a informação que o agente possui sobre o ambiente.

- *Função de revisão de crenças*

  Função que actualiza o conjunto de crenças, de acordo com novos eventos e crenças actuais do agente.

- F*unção de geração de opções*

  Função que determina as opções (desejos) disponíveis para o agente, com base nas suas crenças e intenções actuais. É o processo onde o agente decide como actuar, para satisfazer as suas intenções. Algumas das opções resultantes desta função tornar-se-ão intenções, e servirão de "feedback" para geração de novas opções, resultando na geração de opções mais concretas. O agente irá considerar assim comprometer-se a intenções progressivamente mais específicas, até que o conjunto das suas intenções corresponda a acções imediatamente executáveis. Esta função deve apresentar-se consistente: as opções geradas devem ser consistentes com crenças e intenções actuais; e oportunista: deve ser capaz de reconhecer quando o ambiente se altera de modo a oferecer ao agente novas formas de satisfação das suas intenções, ou a possibilidade de atingir intenções que eram inatingíveis.

- *Conjunto de opções*

  Representam os possíveis cursos de acção disponíveis para o agente (desejos).

- F*unção de filtragem*

  Esta função representa o processo de deliberação do agente, que determina as intenções deste com base nas suas crenças e desejos actuais. É o processo onde o agente decide o que fazer. Actualiza as intenções do agente, com base nas suas intenções prévias, crenças e desejos actuais. Esta actualização implica a desistência de intenções que deixam de ser atingíveis ou apresentam um custo demasiado elevado; e ainda a adopção de novas intenções que resultaram da adopção de novas opções.

- C*onjunto de intenções*

  Representa os estados que o agente está actualmente comprometido a tentar obter.

- F*unção de selecção de acção*

  Esta função determina qual a acção a realizar em cada momento com base nas intenções actuais do agente.

Refere-se ainda uma outra categorização dos "estados mentais" de um agente, realizada a um nível superior, de acordo com o conceito de atitude [Wooldridge e Jennings, 1995]. Segundo estes autores, os "estados mentais" de um agente podem ser incluídos em duas classes: atitude de informação e pró-atitude.

- Atitude de informação

  Atitudes relacionadas com a informação que o agente possui sobre o mundo no qual está inserido. Nesta categoria inclui-se a *crença* e o *conhecimento*.

- Pró-atitude

  Atitudes que, de alguma forma, guiam as acções do agente. Nesta categoria, inclui-se o *desejo*, a *intenção*, a *obrigação*, o *compromisso* e a *escolha*.

Compromisso em agentes "BDI"

Para melhor compreender a distinção entre os conceitos de *objectivos* e *intenções*, já referidos anteriormente, surge a noção de *compromisso*. Um agente está sempre comprometido com as suas intenções, e não, obrigatoriamente, com os seus objectivos. Este compromisso dita se o agente irá persistir com as suas intenções e, se sim, por quanto tempo. Determina ainda o modo como as intenções são revistas e actualizadas. As condições de término de um compromisso, classificam estes em três tipos diferentes: compromisso cego, compromisso honesto e compromisso aberto.

- Compromisso cego

  O agente mantêm a intenção até que acredite que atingiu essa intenção.

- Compromisso honesto

  O agente mantêm a intenção enquanto acreditar que esta ainda pode ser atingida.

- Compromisso aberto

  O agente desiste da intenção, não só se já não acredita que esta possa ser atingida, mas também se a intenção já não for um objectivo.

Agentes BDI sociais

A existência de outros agentes no sistema levanta problemas adicionais ao processo de deliberação de um qualquer agente, pois é necessário raciocinar sobre as intenções dos outros, e possivelmente, sobre as intenções de conjuntos de agentes que se juntam em actividades de grupo. Os parágrafos seguintes referem dois trabalhos relevantes nesta área.

Norman [Norman *et al.*, 1998] introduz a noção de *acordos* entre agentes, que se baseia em *direitos* e *acções* a ser realizadas. As acções que um agente pode realizar para atingir os seus objectivos sem incorrer em penalidades impostas pelos outros membros da sociedade, são determinadas pelas acções que é capaz de executar e tem direito a realizar. Os agentes podem ainda *delegar* acções, isto é, dar permissão a outros agentes para executar acções que apenas eles têm direito a executar. Os agentes envolvidos em um acordo têm de se comprometer a agir em conformidade com esse acordo. Para assegurar a estabilidade da actividade do grupo, aos agentes que estão envolvidos em um acordo, é requerida uma noção de *compromisso de grupo* para agir em concordância com o acordo. Tal compromisso de grupo assegura que cada agente inserido no grupo está obrigado a fazer cumprir a sua parte no acordo.

Castelfranchi [Castelfranchi, 1995] faz uma distinção entre *compromisso individual*, *compromisso social* e *compromisso colectivo*. Um compromisso social não é apenas um compromisso individual partilhado por mais que um agente. O *compromisso social* é definido como uma relação entre pelo menos três agentes e uma acção: o agente **x** compromete-se para com o agente **y** a realizar acção **a**, e o agente **z** é aquele com quem **x** estava inicialmente comprometido. O *compromisso colectivo* é o compromisso individual de um conjunto de agentes a uma determinada intenção, existindo conhecimento da sociedade sobre esse facto. Assim, um compromisso colectivo pode ser visto como a junção de três parcelas: um compromisso social de cada um dos agentes com a sociedade, um compromisso social de cada um dos agentes com cada um dos outros, e um compromisso individual de cada um dos agentes com a sua acção.

4.2. Sistemas Multi-Agentes

Após a introdução da noção de *agente* como uma entidade computacional inteligente na secção anterior, esta secção discute como tais entidades são capazes de se comportar quando inseridas em um grupo.

Um *sistema multi-agente* (SMA) pode ser definido como um grupo de agentes que combinam as suas competências e cooperam com o intuito de satisfazer um objectivo comum. A adopção de mecanismos de cooperação eficiente atribuem ao sistema multi-agente uma capacidade superior à soma das capacidades individuais dos agentes, pois o desempenho emerge através das interacções dinâmicas que ocorrem naturalmente entre os agentes individuais.

4.2.1. Motivação de um Sistema Multi-Agente

Soluções centralizadas podem ser mais eficientes que aplicações distribuídas, no sentido em que o que é executado em um sistema distribuído, pode ser transportado para um sistema centralizado, e aí optimizado sem necessidade de problemas de comunicação entre diferentes aplicações. É ainda possível ter um controlo local sobre todas as operações do sistema. Contudo, existem situações em que a solução centralizada é impossível de obter, ou não desejada porque as aplicações distribuídas são geralmente mais fáceis de entender e desenvolver ou modificar. Assim, soluções distribuídas são geralmente adoptadas quando:

- O problema a resolver é uma composição de subproblemas. As entidades ou aplicações competentes para a resolução dos diferentes subproblemas encontram-se geograficamente distribuídas.
- O problema é de complexidade ou dimensão extremamente elevada para ser executado por uma única entidade. As operações de desenvolvimento, alteração ou verificação do sistema apresentam um desempenho substancialmente melhorado se realizadas sob módulos de dimensão e complexidade reduzida.

Um sistema distribuído obriga a uma interacção constante entre os seus membros, partilhando competências, com vista à resolução conjunta de um problema. Um dos principais problemas que se colocam na actuação de um sistema distribuído é o problema da comunicação entre os seus membros. Qual o meio de comunicação a utilizar? Qual a informação a transmitir, de forma a que aplicações heterogéneas se entendam mutuamente? A secção seguinte discute este problema da comunicação em um sistema multi-agente.

4.2.2. Interacção entre agentes

O conceito de agente suscita a noção de autonomia, adaptabilidade e *cooperação*. É esta noção de cooperação que permite a formação de comunidades de agentes que, em conjunto, são capazes de resolver problemas que individualmente não conseguiriam. Os sistemas (ou

agentes) podem interagir se são capazes de trocar mensagens entre si, e entender o seu significado. O conceito de interacção é descrito em [Aagedal e Oldevik, 1997] como:

Dois componentes X e Y podem interoperar se X pode enviar pedidos R_i de serviços a Y, com base em um entendimento comum de R_i por parte de X e Y, e se Y pode retornar respostas S_i a X.

A interacção entre os agentes é construída na partilha de conhecimento que inclui quer a comunicação de conhecimento, quer o entendimento comum desse conhecimento.

A interacção entre agentes em um SMA obriga assim à satisfação dos seguintes requisitos:

- Plataforma de comunicação
- Linguagem de comunicação
- Ontologia

Estes pontos são discutidos nas secções seguintes.

4.2.2.1. Plataforma de comunicação

A plataforma de comunicação disponibiliza o meio físico de transmissão de informação entre os diversos agentes que constituem o SMA. Porque os agentes são geralmente heterogéneos, a interoperabilidade é também um factor a ter em conta no desenvolvimento de uma plataforma de comunicação.

O rápido desenvolvimento da Internet e serviços associados (WWW, FTP, E-Mail, Telnet), utilizados como veículo para a transmissão de informação, começa a representar um papel importante no suporte de *entidades distribuídas* que necessitem interactuar no decurso das suas actividades. Isto porque a Internet é uma rede pública, acessível a todos, é de fácil utilização e apresenta um custo reduzido. Mas a Internet por si só, não resolve o problema da interoperabilidade entre os sistemas.

Mas outras plataformas de comunicação foram sendo desenvolvidas, procurando suportar a ligação de *entidades* não apenas *distribuídas*, mas também *heterogéneas*. E existe ainda uma outra classe de plataformas de comunicação que foram desenvolvidas com o intuito de suportar a ligação de *entidades inteligentes (agentes) distribuídas*. Nos pontos seguintes apresentamos duas dessas plataformas: CORBA e JATLite.

CORBA

CORBA ("Common Object Request Broker Architecture") permite a interoperabilidade de objectos entre redes em ambientes heterogéneos [Vinoski, 1997]. Nesta arquitectura, as aplicações distribuídas são vistas como objectos, isto é, uma entidade fechada, cujas funcionalidades são visíveis para o exterior através de interfaces bem definidas. Os objectos são assim especificados, por meio de uma interface descrita em um alto nível de abstracção, em termos das suas características externamente visíveis, independentemente da implementação. Esta interface é descrita em uma linguagem declarativa, denominada IDL ("*Interface*

Definition Language"). A figura seguinte (Figura 16) apresenta a arquitectura CORBA, onde é ilustrado o processo de invocação de um serviço em determinada aplicação (objecto) por parte de uma outra aplicação (cliente).

A ideia desta arquitectura CORBA é tornar standard a interface dos serviços ou funcionalidades de cada uma das aplicações do sistema, de modo a dar-se a conhecer às outras aplicações do sistema, e ao mesmo tempo permitir que a implementação seja realizada independentemente. Esta arquitectura facilita a comunicação entre aplicações distribuídas, disponibilizando um conjunto de serviços adicionais que permitem esconder a localização das aplicações, o modo como estas são implementadas e mesmo qual o mecanismo de comunicação usado. A comunicação entre aplicações é realizada simplesmente pelo envio, para a arquitectura CORBA, da descrição IDL referente ao serviço pretendido. É da responsabilidade da plataforma CORBA encontrar a aplicação que satisfaz os requisitos desse pedido, realizar o pedido, e retornar o resultado à aplicação cliente.

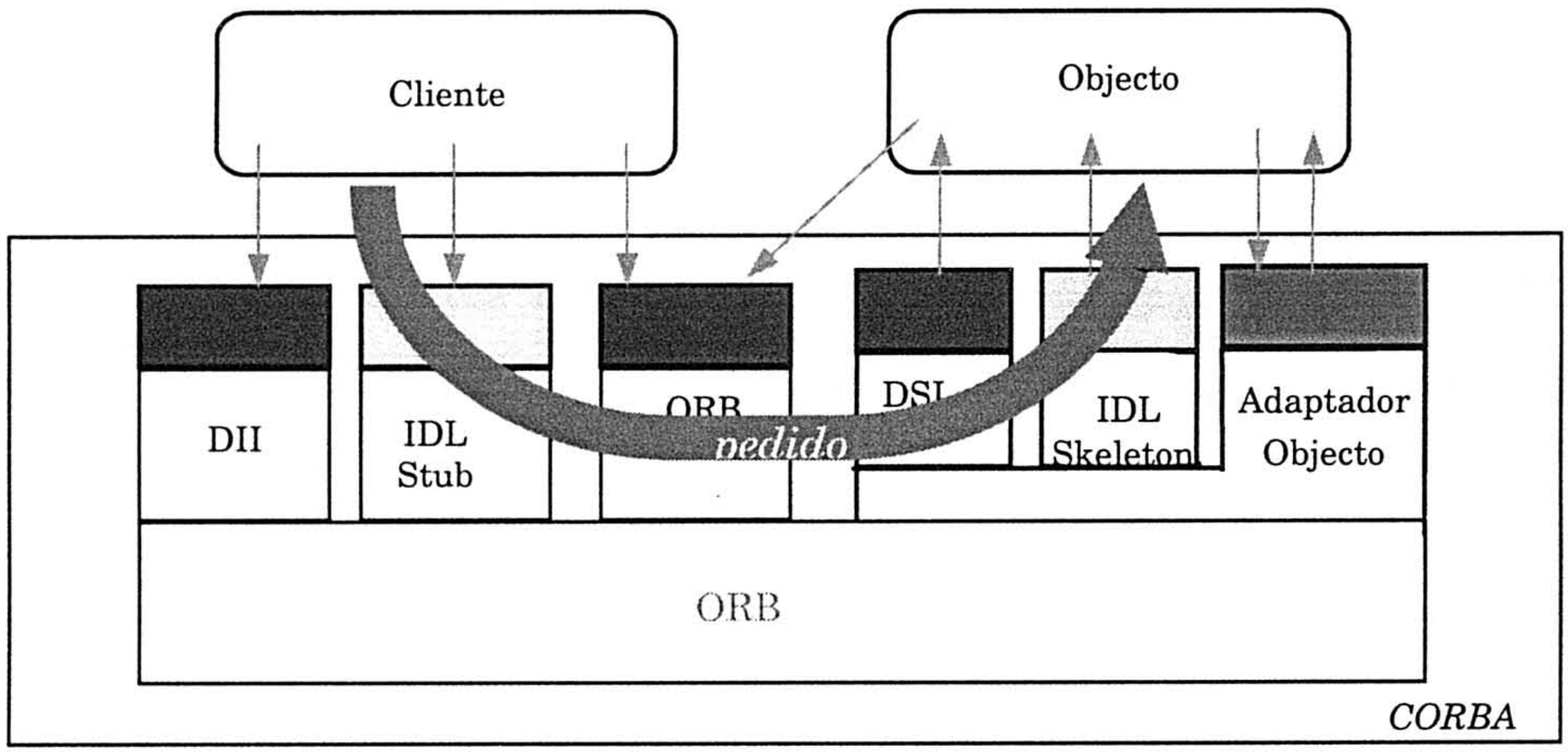


Figura 16. Plataforma CORBA

Esta plataforma não trata, no entanto, de problemas mais complexos ligados à distribuição de aplicações, nomeadamente: falhas parciais ou comunicação de grupo.

JATLite

JATLite ("Java Agent Template, Lite") [JATLite] é uma plataforma desenvolvida na Universidade de Stanford, cujo objectivo é facilitar a comunicação entre agentes heterogéneos e distribuídos, com o requisito de que estes devem entender a linguagem Java. JATLite é constituído por um conjunto de programas escritos em Java, que disponibiliza um conjunto de serviços úteis à comunicação em um ambiente distribuído.

A comunicação entre os agentes é realizada por envio de mensagens. JATLite facilita especialmente a troca de mensagens usando a linguagem de comunicação KQML (referida nas secções seguintes).

A plataforma JATLite baseia-se essencialmente em um componente denominado AMR ("Agent Message Router") (ver Figura 17). Qualquer agente que pretenda pertencer ao sistema, é obrigado a registar-se no AMR, usando um nome e uma palavra-chave. AMR é uma aplicação especializada que gere todo o processo de encaminhamento de mensagens, recebendo mensagens de um agente emissor, e entregando essa mensagem ao agente receptor respectivo. É da responsabilidade do AMR garantir essa entrega, mesmo que a rede de comunicação esteja temporariamente interrompida, ou o agente receptor temporariamente inactivo. É ainda da responsabilidade deste módulo manter actualizados os endereços de todos os agentes do sistema, retirando ao agente emissor a necessidade de conhecer o endereço do receptor da mensagem.

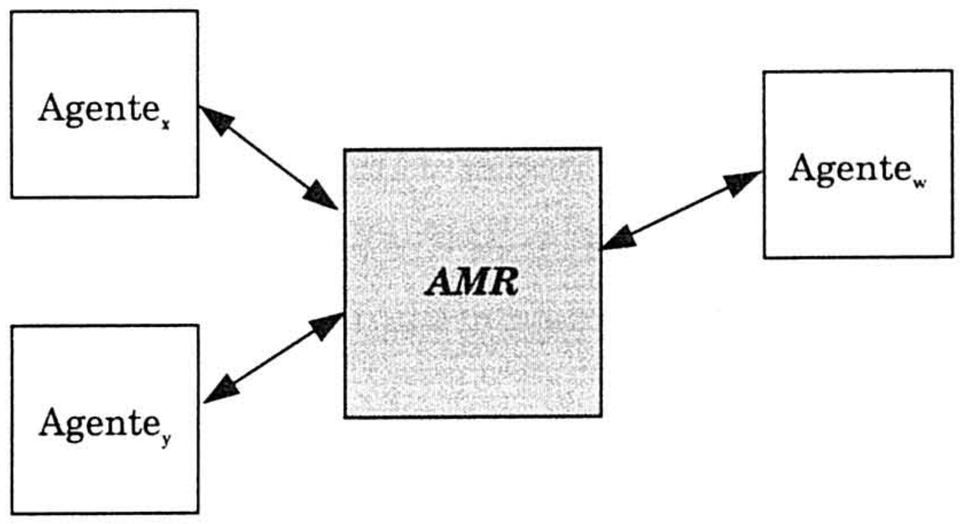


Figura 17. Plataforma JATLite

De entre os serviços disponibilizados pela plataforma JATLite para a comunicação em ambientes distribuídos, destaca-se um pela sua maior importância, que é a possibilidade de reenvio de mensagens. Se, por qualquer motivo, uma mensagem não é enviada com sucesso para o agente receptor respectivo, o AMR guarda essa mensagem em uma fila própria e, periodicamente, tenta novamente o seu envio.

Entre as duas plataformas referidas, CORBA e JATlite, são de referir as seguintes diferenças:

- Aplicações do sistema distribuído

  O sistema distribuído é formado por aplicações que na plataforma CORBA, são implementadas como *objectos*, e na plataforma JATLite como *agentes*.

- Modo de comunicação

  Na plataforma CORBA, os objectos comunicam através de *invocação remota de métodos*. Na plataforma JATlite, os agentes comunicam por envio de *mensagens*.

A plataforma JATLite foi a plataforma seleccionada para o desenvolvimento do nosso protótipo, entre outras razões, pelo facto de usar agentes, e facilitar a gestão da comunicação entre estes quando usam mensagens KQML.

4.2.2.2. Linguagem de comunicação

A interacção entre agentes obriga a que estes comuniquem, independentemente da heterogeneidade que possa existir entre eles, relativa a plataformas de desenvolvimento, linguagens de programação, linguagens de representação interna do conhecimento ou sistemas de raciocínio. Em um SMA, a comunicação entre os agentes não se limita à troca de informação simples, mas implica também a comunicação de atitudes mais complexas, como o questionar outros agentes, o informar outros agentes de algo que possa ser relevante para eles, o requerer os seus serviços, o verificar o estado de um determinado processo, etc.

Uma linguagem de comunicação de agentes (ACL - "*Agent Communication Language*") é a forma pela qual são comunicadas as atitudes relativas ao conteúdo de uma mensagem que é trocada entre os agentes do sistema [Labrou e Finin, 1997].

Nesta secção, apresentamos a linguagem KQML ("*Knowledge Query and Manipulation Language*") [Finin *et al.*, 1997], visto ser a linguagem de comunicação de agentes mais usual actualmente, e a que irá ser usada no protótipo por nós desenvolvido.

A linguagem KQML é dividida em três camadas: *conteúdo*, *mensagem* e *comunicação*.

- ***Conteúdo***

  Inclui a informação a ser efectivamente transmitida, em uma linguagem de representação escolhida pelo agente emissor. A linguagem KQML suporta qualquer linguagem de representação, pois o conteúdo da mensagem é ignorado durante o processo de transmissão (com excepção da determinação do seu final). Cabe apenas ao agente receptor a tarefa de interpretação deste conteúdo.

- ***Mensagem***

  É a parte central da linguagem KQML, e codifica a totalidade da informação que um agente deseja transmitir a outro. A mensagem inclui não apenas o conteúdo, mas também a *intenção* do emissor da mensagem. A *intenção* de uma mensagem, especifica qual o tipo de interacção entre os agentes emissor e receptor, e obedece a um conjunto pré-estabelecido. Pode ainda incluir outras características opcionais descritivas, por exemplo, da identidade do receptor, do formato da informação, ou da ontologia adoptada.

- ***Comunicação***

  Codifica um conjunto de características para descrição de parâmetros de comunicação de baixo nível (por exemplo: identidade do emissor e do receptor, ou identificador único associado à comunicação).

A sintaxe de uma mensagem KQML é baseada em uma lista cujo primeiro elemento representa a *intenção* e o resto da lista são os restantes parâmetros na forma de pares atributo/valor. Como exemplo de uma mensagem KQML, é apresentada a seguir a codificação do cenário em que um agente questiona um outro sobre o preço de um monitor Philips:

```
(ask-one
        : content     (preco(monitor_philips,?))
        : receiver    agente_stock
        : language    prolog
        : ontologia   computadores
```

Nesta mensagem, a intenção é questionar um agente (*ask-one*); o conteúdo refere o preço de um monitor Philips (*preco(monitor_philips,?)*); o receptor da mensagem é o agente *agente_stoc;*, a questão colocada está escrita em uma linguagem denominada *prolog*; e a ontologia usada é indicada pela identificação *computadores*.

4.2.2.3. Ontologia

A partilha de informação entre agentes requer mais que um formato comum e uma linguagem de comunicação. Os agentes, como entidades autónomas especializadas para um aspecto particular do problema, possuem geralmente diferentes modelos do mundo nos quais os objectos e propriedades podem ser conceptualmente diferentes. É necessário que os agentes concordem em um modelo do mundo, de forma a assegurar um entendimento correcto e mútuo da informação a tratar, isto é, que acordem em uma ontologia comum.

Com uma linguagem de comunicação comum, um conteúdo de linguagem comum e uma ontologia partilhada, os agentes conseguem comunicar entre si na mesma forma, na mesma sintaxe e com o mesmo entendimento do mundo. É esta última questão, *ontologia*, que é discutida nesta secção.

Ontologia é a especificação explícita de uma conceptualização [Gruber, 1993]. Por conceptualização entende-se a visão simplificada e abstracta do mundo, onde se representam formalmente os objectos, conceitos e outras entidades que existem em alguma área de interesse, e relações entre elas. A ontologia fornece, assim, o vocabulário de representação para um domínio específico, e ainda, um conjunto de definições e axiomas que restringem o significado dos termos nesse vocabulário, de modo suficiente para permitir uma interpretação consistente dos dados existentes no vocabulário.

A adopção de uma ontologia comum garante a consistência e compatibilidade da informação presente no sistema.

- Consistência

  A mesma expressão tem o mesmo significado para qualquer agente.

- Compatibilidade

  Um qualquer conceito é designado, pela mesma expressão, por qualquer agente.

Um dos estudos mais citados relativamente à construção de ontologias é sem dúvida o sistema *Ontolingua* [Farquhar *et al.*, 1996]. Ontolingua é um sistema desenvolvido no laboratório de "Stanford Knowledge Systems", que permite a descrição de ontologias em uma forma que é compatível com múltiplas linguagens de representação. Este sistema permite, através da WWW, o acesso a ontologias armazenadas em um servidor, e consequente pesquisa, publicação, criação e edição.

As ontologias escritas em Ontolingua podem ser partilhadas por múltiplos utilizadores usando os seus próprios sistemas de representação, e são portáveis de sistema para sistema. Foi também desenvolvido um servidor ("KSL Ontology Server") que realiza a tradução de Ontolingua em várias linguagens de representação [Uschold e Gruninger, 1996].

O projecto de criação de Ontolingua foi guiado por três requisitos:

- Oferecer uma linguagem expressiva, declarativa e independente do sistema no qual se escreve as definições.
- Suportar a tradução em outras linguagens, possivelmente menos expressivas.
- Permitir uma extensão fácil.

A sintaxe e semântica de definições Ontolingua são baseadas em notação de uma versão estendida de cálculo de predicados de primeira ordem: KIF ("*Knowledge Interchange Format*").

KIF[4] [Genesereth *et al.*, 1992] é uma linguagem de especificação declarativa, não uma implementação, usada para publicação e comunicação de conhecimento. É uma versão estendida de cálculos de predicados de primeira ordem, e facilita a codificação de dados simples, restrições, negociações, disjunções, regras ou expressões quantificadas. KIF permite expressar conhecimento específico do domínio em declarações formais independentes do contexto. Porque o conhecimento codificado em KIF é expresso em uma forma declarativa, pode ser facilmente transmitido e interpretado entre sistemas heterogéneos.

Em Ontolingua, a ontologia é especificada usando a sintaxe KIF, acrescida de linguagem natural. Como exemplo, refere-se a seguinte identificação da entidade "autor" [Uschold e Gruninger, 1996]:

(Define-Class Author
(?X)
"Um autor é um agente que escreve coisas. Um autor deve ter um nome, que é o seu nome real como agente. O nome como autor pode ou não ser o nome do agente, mas geralmente é."
:Def
(And (Agent ?X) (Has-One ?X Name))
:Issues
((:See-Also "Has-Name adicionado nesta ontologia")))

[4] KIF está, muitas vezes, associado ao conteúdo da linguagem KQML.

Apresentamos uma breve descrição da informação contida neste exemplo. *"Name"* é um atributo da classe *"Author"*. *"Has-One"* é uma relação de segunda ordem usada para especificar a cardinalidade do atributo. *":Def"* refere as condições necessárias para pertença à classe, que neste exemplo são duas: todos os autores são agentes, e cada autor tem exactamente um nome.

Note-se que nesta ontologia é inserida uma definição genérica do que se entende ser um autor, e esta é apresentada em linguagem natural.

A constituição de Empresas Virtuais de forma automática, como nesta tese é proposta, e para um dado domínio económico, implicaria a constituição prévia da ontologia para esse domínio a qual seria partilhada por todos os agentes intervenientes no processo da formação.

4.3. O Mercado Electrónico visto como um SMA

A Empresa Virtual é uma estrutura organizacional constituída por empresas heterogéneas e distribuídas, empresas essas que são independentes umas das outras e possuem objectivos e métodos de trabalho próprios. Por tudo o que foi descrito nas secções anteriores, o uso de um sistema multi-agente revela-se um paradigma apropriado para a representação de uma Empresa Virtual. Tal opinião é também adoptada por Fischer:

> *" A formação de uma empresa virtual é um problema de decisão multi-agente onde cada participante é um agente autónomo ou semi-autónomo. "* [Fischer *et al.*, 1996]

O presente trabalho visa o desenvolvimento de uma infraestrutura e metodologias apropriadas de suporte à formação de Empresas Virtuais[5]. Contudo, a arquitectura aqui apresentada é possível de ser usada ou estendida para as restantes fases do ciclo de vida de uma EV. Nesta secção, é descrito o sistema multi-agente desenvolvido para representar o mercado electrónico onde a EV está inserida. Nos capítulos seguintes serão apresentadas e discutidas as metodologias (negociação, aprendizagem, e satisfação de dependências) adoptadas na formação da EV, isto é, na selecção das empresas individuais que a constituem.

Em qualquer mercado, e porque está em causa uma transacção comercial, os elementos essenciais deste são os participantes e o objecto da transacção. No cenário de Empresas Virtuais, os *participantes* serão as empresas individuais que visam a formação da corporação que é a EV. O *objecto da transacção* será o produto ou serviço com que as várias empresas irão contribuir nesta corporação, e que iremos designar por **bem**. Porque é possível a existência de várias empresas, no mercado electrónico, com competência para disponibilizar um mesmo bem, este mercado é classificado como um ***mercado competitivo***.

---

[5] Recorda-se que a formação da Empresa Virtual é a segunda fase no ciclo de vida desta.

O Sistema Multi-Agente desenvolvido para modelação do mercado electrónico (Figura 18), apresenta, de acordo com o discutido nas secções anteriores, as características a seguir enumeradas:

- *Agentes*

  Um participante do mercado é representado no nosso sistema através de um *agente deliberativo*. Estes agentes podem ser dos seguintes tipos, de acordo com a sua função no mercado:

  - ***Agente empresa***

    Agente que representa uma empresa (ou um módulo de uma empresa) com competência no modo de obtenção de um bem específico.

  - ***Agente mercado***

    Agente que representa a necessidade do mercado (o bem ou conjunto de bens que é necessário obter). Este agente é ainda responsável pela coordenação do processo de formação da Empresa Virtual, isto é, o processo de selecção dos melhores agentes empresa com competência para satisfazer a necessidade do mercado.

  - ***Agente registo***

    Este agente faz parte do suporte computacional onde o sistema está implementado. Inclui a descrição da ontologia de representação dos bens do mercado, bem como a identificação de todos os outros agentes (empresa e mercado). Sempre que um agente entra ou sai do mercado, este agente regista essa informação. É também responsável pelo estabelecimento dos contactos iniciais entre os agentes mercado e empresa, quando estes ainda não se conhecem.

- *Interacção entre os agentes*

  - *Plataforma de comunicação*

    A plataforma usada é o **JATLite**, por possuir a facilidade de gestão de mensagens com reenvio quando o agente receptor está temporariamente inactivo, e facilitar a comunicação em linguagem KQML.

  - *Linguagem de comunicação*

    A linguagem de comunicação adoptada é o **KQML**, por ser um quase-standard de elevada aceitação, e apropriado para utilização em agentes heterogéneos.

  - *Ontologia*

    A ontologia desenvolvida para representação dos bens a transaccionar é apresentada na secção seguinte (secção 4.3.1).

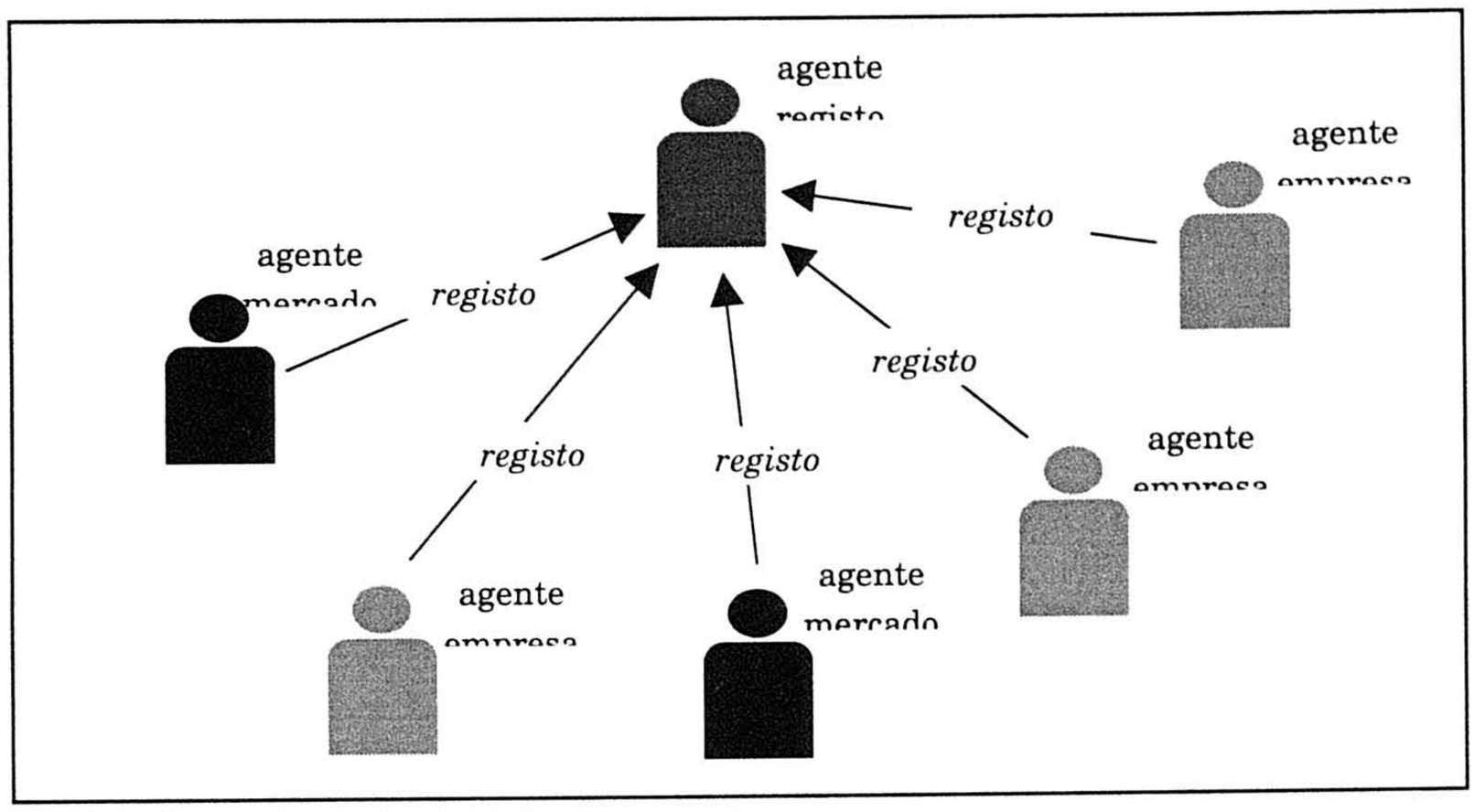


Figura 18. O mercado electrónico visto como um Sistema Multi-Agente

Descrição formal

O mercado electrónico é representado pela seguinte estrutura:

$M = \langle Agt, Papel, Ont, Msg \rangle$, onde

1. *Agt* é um conjunto de identificadores dos agentes presentes no mercado.
2. P*apel* = { *empresa, mercado* }, indica a função que um agente desempenha no mercado.
3. *Ont* é a ontologia adoptada na descrição dos bens do mercado.
4. *Msg* é o conjunto de mensagens que são passíveis de transmissão entre os agentes presentes no mercado. Estas mensagem obedecem à especificação da linguagem KQML.

As secções seguintes descrevem, em pormenor, quer a ontologia dos bens do mercado, quer a arquitectura dos agentes mercado e empresa.

4.3.1. Ontologia dos bens do mercado

A ontologia dos bens do mercado identifica e representa os bens que constituem o objecto de transacção nesse mercado, e é representada pela estrutura:

$Ont = \langle Bem, Cmpt, Atb, Val, BC_r, CA_r, AV_r \rangle$, onde:

1. *Bem* é o conjunto de identificadores dos bens em transacção no mercado.
2. *Cmpt* é o conjunto de identificadores de componentes em transacção no mercado.
3. *Atb* é o conjunto de identificadores de atributos.
4. *Val* é o conjunto de identificadores dos valores de um atributo. Estes são representados pela estrutura:

$Val_i = \langle Tipo, Dom \rangle$

$Tipo = \{\text{inteiro, real, string}\}$

$Dom = \{\text{discreto, contínuo}\}$

5. $BC_r : Bem_i \rightarrow \{Cmpt\} \quad , \forall_{Bem_i} \in Bem$

É uma relação que afecta a cada bem em *Bem* um conjunto de componentes em *Cmpt*.

6. $CA_r : Cmpt_i \rightarrow \{Atb\} \quad , \forall_{Cmpt_i} \in Cmpt$

É uma relação que afecta a cada componente em *Cmpt* um conjunto de atributos em *Atb*.

7. $AV_r : Atb_i \rightarrow Val_k \quad , \forall_{Atb_i} \in Atb, \exists^1 Val_k \in Val$

É uma relação que afecta a cada atributo em *Atb* um valor característico em *Val*.

Como exemplo, é apresentada na figura seguinte (Figura 19) uma pequena parte da definição do bem ***"carro"***.

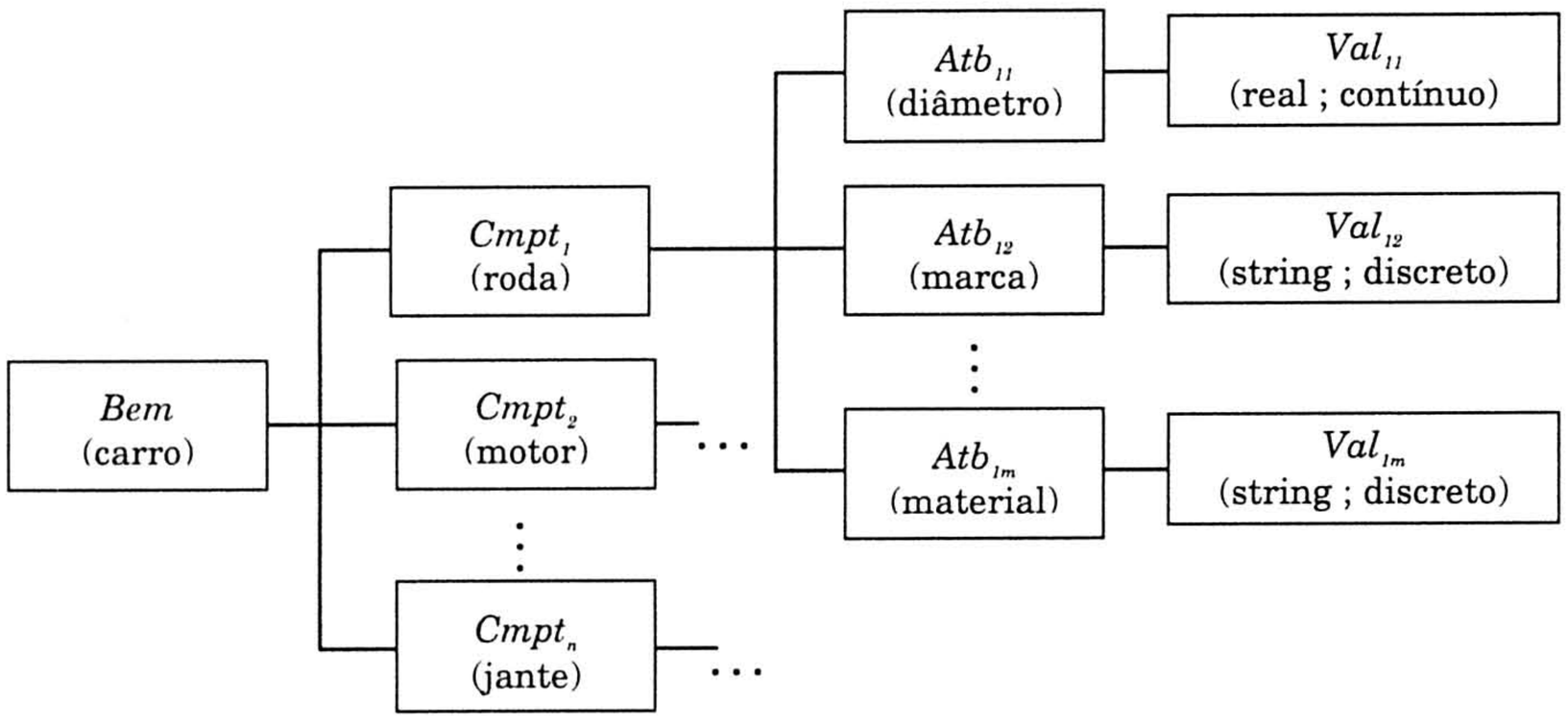


Figura 19. Definição parcial do bem "carro"

4.3.2. Agente Mercado

O **Agente Mercado** é criado como consequência da identificação de uma necessidade do mercado[6]. Este agente possui duas funções principais: a descrição da necessidade de mercado de acordo com a ontologia adoptada pelo mercado, e a selecção das empresas individuais mais competentes a incluir na EV que irá ser formada com o objectivo de satisfazer tal necessidade [Rocha e Oliveira, 1999]. A figura seguinte (Figura 20) apresenta a estrutura de um agente mercado, a qual inclui dois módulos principais: o módulo *"Descritor do Objectivo"* e o módulo *"Selector da Empresa Virtual"*.

[6] A identificação de uma necessidade de mercado constitui a primeira fase do ciclo de vida de uma EV.

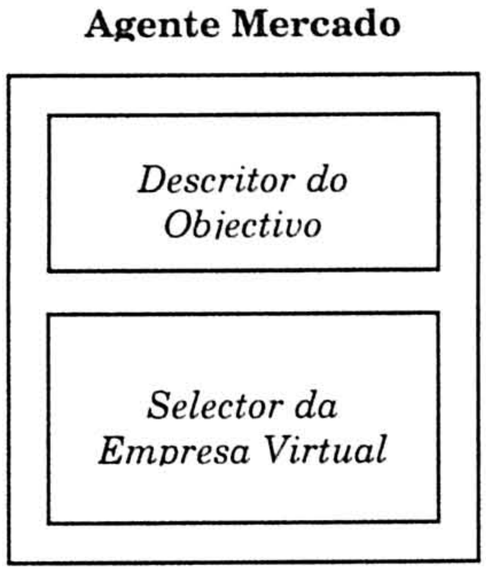


Figura 20. Estrutura do Agente Mercado

Descritor do objectivo

Este módulo inclui a descrição do bem que o mercado procura satisfazer. A seguinte estrutura contém tal descrição:

$Obj = \langle\ Bem, Cmpts, Dep\ \rangle$, onde:

1. *Bem* é o identificador do bem a satisfazer
2. *Cmpts* é um conjunto de informação relacionada com os componentes do bem *Bem*. Cada elemento do conjunto *Cmpts* possui a estrutura seguinte:

   $Cmpts_i = \langle\ Cmpt_i, Atbs_i, Val_Atbs_i\ \rangle$

3. $Cmpt_i$ é o identificador do componente i.
4. $Atbs_i$ é o conjunto dos atributos relacionados com o componente $Cmpt_i$ (de acordo com a ontologia). Mas este conjunto de atributos é apresentado nesta estrutura, não como uma repetição da informação que já está incluída na ontologia, mas sim de uma forma ordenada de acordo com a preferência relativa dos atributos.

   $Atbs_i = \{Atb_{i1}, Atb_{i2}, \ldots, Atb_{ik}\}$
   $Atb_{i1} >_{imp} Atb_{i2} >_{imp} \ldots >_{imp} Atb_{ik}$, $>_{imp}$ *significa " mais importante que"*

5. Val_Atbs_i é o conjunto dos valores que o cliente aceita para os diferentes atributos (o cliente é a entidade que identificou a necessidade do mercado). Cada elemento deste conjunto é um outro conjunto do tipo:

   $Val_Atbs_{ik} = \{Valor_{ik1}, Valor_{ik2}, \ldots, Valor_{ikn}\}$
   $Valor_{ik1} >_{imp} Valor_{ik2} >_{imp} \ldots >_{imp} Valor_{ikn}$

À semelhança do descrito no ponto anterior, também o domínio dos valores de um atributo é apresentado em uma forma ordenada, de acordo com a preferência relativa da ocorrência destes valores.

Um qualquer componente é, assim, descrito em termos qualitativos, por um conjunto de atributos (uns mais importantes que os outros), aos quais estão associados domínios específicos (onde uns valores são preferíveis a outros).

6. *Dep* é uma relação de dependências entre os valores dos atributos de componentes que sejam funcionalmente dependentes. *Dep* é uma relação sobre o conjunto do espaço cartesiano definido por $Val_Atbs_{11} \times \ldots \times Val_Atbs_{nm}$

$$Dep = \{Dep_k\}$$
$$Dep_k = f(Valor_{ikx}, \ldots, Valor_{lpz}),$$

sendo $Valor_{ikx}$ o valor x do atributo k do componente i.

Selector da Empresa Virtual

O módulo "Selector da Empresa Virtual" é responsável pela selecção racional das empresas individuais que irão formar a Empresa Virtual. Em um primeiro passo, um conjunto de anúncios (um para a obtenção de cada um dos componentes inscritos no módulo "Descritor do Objectivo") é enviado para o mercado electrónico. Em um segundo passo, é realizada a selecção das melhores propostas recebidas em resposta a estes anúncios. Este processo de selecção inclui uma troca iterativa de propostas e contra-propostas entre o *Agente Mercado* e os *Agentes Empresa* interessados em formar esta EV, encetando assim um processo de negociação. O protocolo de negociação desenvolvido inclui uma avaliação multi-atributo, a facilidade de aprender como realizar propostas mais aliciantes durante o próprio processo de negociação, e ainda a resolução de interdependências que foi referido ser possível existir entre atributos relativos a diferentes componentes. A negociação é um assunto apresentado e discutido no capítulo seguinte.

4.3.3. Agente Empresa

Actualmente, uma empresa não necessita apenas de ser realmente competente no seu campo de negócio. O nível de competitividade crescente em um mercado económico, obriga esta a ser capaz de reagir rapidamente às alterações constantes do mercado, bem como a interagir com outras empresas na satisfação de necessidades mais complexas. A arquitectura a desenvolver para um agente empresa deve satisfazer estes requisitos. A Figura 21 apresenta a arquitectura proposta para um **Agente Empresa** [Rocha e Oliveira, 1999].

A estrutura de um agente empresa inclui três módulos funcionais: "Módulo de Comunicação", "Módulo de Coordenação e Controlo" e "Módulo de Execução"; e dois módulos de conhecimento: "Conhecimento da Empresa Virtual" e "Conhecimento Individual".

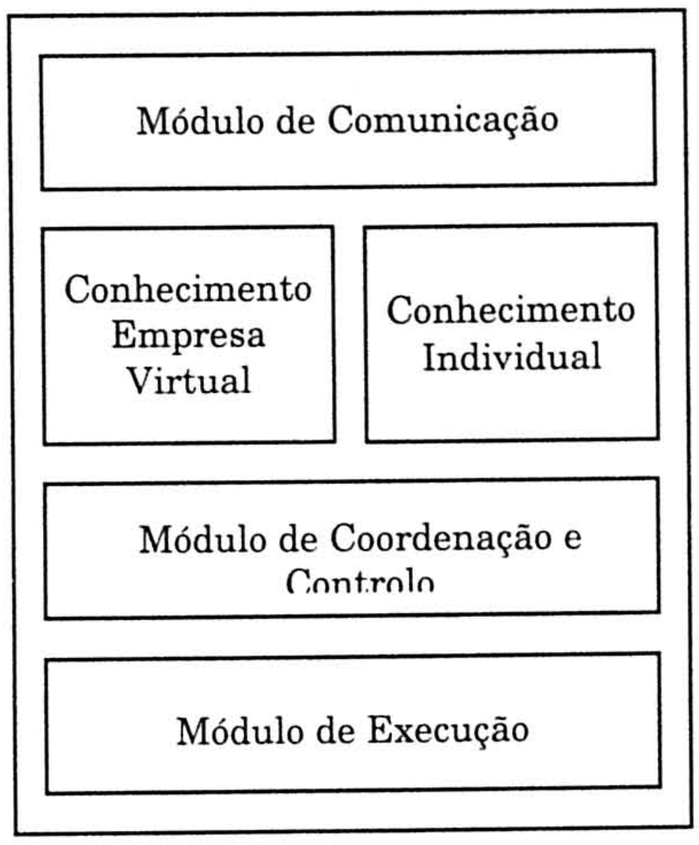


Figura 21. Estrutura do Agente Empresa

Módulo de Comunicação

O *"Módulo de Comunicação"* é responsável por toda a gestão dos processos relacionados com a recepção e envio de mensagens.

A recepção de qualquer mensagem é realizada por este módulo, que lê a mensagem, descodifica-a e transmite o seu conteúdo aos módulos respectivos, de acordo com a intenção da mensagem. A emissão de qualquer mensagem também é realizada por este módulo, que é responsável por codificar a mensagem (inclusão de uma intenção), e a enviar apenas para aqueles agentes que sabe serem capazes de tratar a intenção da mensagem.

As mensagens trocadas no sistema obedecem à especificação da linguagem KQML.

Módulo de Coordenação e Controlo

O *"Módulo de Coordenação e Controlo"* é o mais complexo. A sua função é realizar a gestão quer do comportamento cooperativo, quer da execução de tarefas locais.

A gestão da execução de tarefas locais incluirá a verificação do correcto desempenho de uma actividade local que o agente se comprometeu a realizar. Esta funcionalidade é útil para a fase de operação da EV, e não irá ser analisada neste trabalho.

A gestão do comportamento cooperativo dos agentes inclui, além de outras funcionalidades não consideradas neste trabalho, a realização da fase de formação da EV.

Na fase de formação da Empresa Virtual, e em resposta a um anúncio de necessidade de obtenção de determinado componente para incluir na EV, este módulo é responsável pela formulação de uma proposta por parte deste agente empresa. A discussão do processo de formulação de propostas e contra-propostas com o objectivo de vir a pertencer à EV é realizado no capítulo seguinte, onde é analisado em pormenor todo o processo de negociação.

Módulo de Execução

O *"Módulo de Execução"* constitui o sistema inteligente responsável pela execução efectiva das tarefas locais a que o agente se encontra comprometido. Este módulo não é importante na fase de formação da EV, por isso apenas é referida aqui a sua existência. Este módulo será essencial na fase de operação da EV, pois o controlo do correcto desempenho do agente relativamente às tarefas às quais se comprometeu, será necessariamente realizado com base em informação retirada do módulo de execução.

Conhecimento da Empresa Virtual

O *"Módulo de Conhecimento da Empresa Virtual"* inclui informação relativa aos compromissos assumidos por este agente, e por todos os outros agentes, membros da Empresa Virtual. Este módulo é construído durante a fase de formação da EV, e pode ser actualizado durante a sua operação. A estrutura representativa desta informação é a seguinte:

$$Compr = \langle\, Compr_{pp}, Compr_{o} \,\rangle$$

1. $Compr_{pp}$ é um conjunto de informação relacionada com os compromissos do próprio agente. Cada elemento deste conjunto possui a seguinte estrutura:

   $Compr_{pp_i} = \langle\, Cmpt_i, Sat_i \,\rangle$, onde

   $Cmpt_i$ é o identificador do componente que o agente se comprometeu a obter (de acordo com 4.3.1), e Sat_i a indicação de se o compromisso foi cumprido ou não. Este último parâmetro é usado apenas para uma análise estatística a realizar sobre o desempenho do agente.

2. $Compr_o$ é um conjunto de informação relacionada com os compromissos dos outros agentes da EV. Cada elemento deste conjunto possui a seguinte estrutura

   $Compr_{o_j} = \langle\, Cmpt_j, Agt_j, Sat_j \,\rangle$, onde

   $Cmpt_j$ é o identificador do componente que o agente Agt_j se comprometeu a disponibilizar, e Sat_j a indicação se esse compromisso foi cumprido ou não. Este último parâmetro é usado pelo agente para determinar o grau de confiança que um outro agente (já conhecido) lhe merece.

Conhecimento Individual

O *"Módulo de Conhecimento Individual"* inclui informação relativa ao próprio agente: quais as suas capacidades e carga de trabalho actual.

As capacidades de um agente representam aquilo que ele é capaz de satisfazer. No caso em análise, esta informação diz respeito a *componentes* (subpartes de um bem) que uma

empresa é capaz de disponibilizar. A estrutura que representa uma capacidade do agente empresa é semelhante à anteriormente descrita para o agente mercado, e indicada a seguir:

$$Componente_j = \langle Cmpt_j, Atbs_j, Val_Atbs_j, Dep_j \rangle$$

1. $Cmpt_j$ é o identificador do componente j.
2. $Atbs_j$ é o conjunto dos atributos relacionados com o componente $Compt_j$.

$$Atbs_j = \{Atb_{j1}, Atb_{j2}, \ldots, Atb_{jk}\}$$
$$Atb_{j1} >_{imp} Atb_{j2} >_{imp} \ldots >_{imp} Atb_{jn}$$

3. Val_Atbs_j é o conjunto dos valores que o agente empresa consegue atribuir aos diferentes atributos. Cada elemento deste conjunto é um outro conjunto do tipo:

$$Val_Atbs_{jk} = \{Valor_{jk1}, Valor_{jk2}, \ldots, Valor_{jkn}\}$$
$$Valor_{jk1} >_{imp} Valor_{jk2} >_{imp} \ldots >_{imp} Valor_{jkn}$$

4. Dep_j é uma relação de dependências entre os valores dos atributos, de outros componentes e do componente $Cmpt_j$, que sejam funcionalmente dependentes. Dep_j é uma relação sobre o conjunto do espaço cartesiano definido por $Val_Atbs_{j1} \times \ldots \times Val_Atbs_{nm}$

$$Dep_j = f(Valor_{jkx}, \ldots, Valor_{pz})$$

sendo $Valor_{jkx}$ o valor x do atributo k do componente j.

Embora o presente trabalho incida apenas na fase de formação da Empresa Virtual, a arquitectura proposta para um agente empresa, conforme apresentada nesta secção, é capaz de suportar as restantes fases do ciclo de vida da Empresa Virtual.

4.4. Conclusão

A Empresa Virtual surge em um mercado electrónico onde existem múltiplas empresas individuais, independentes e heterogéneas que, de acordo com as necessidades actuais do mercado, formam coligações temporárias.

A necessidade de estabelecer uma *corporação* resulta do facto de a empresa individual não possuir competência suficiente para satisfazer, na globalidade, uma determinada necessidade do mercado.

A necessidade dessa corporação ser *temporária* é devida à dinâmica do mercado. As necessidades do mercado alteram-se muito rapidamente, porque clientes estão permanentemente a entrar e sair, modificando assim as necessidades do mercado. O mesmo cliente pode também apresentar necessidades ou exigências diferentes em instantes diferentes.

Um sistema multi-agente, pelas características identificadas ao longo deste capítulo, revela-se um paradigma adequada à Empresa Virtual:

- Os agentes do SMA representam as empresas individuais
  Tal como um agente, uma empresa individual possui objectivos próprios, e uma certa autonomia.
- O SMA possui um objectivo global
  O objectivo do SMA é a formação de uma Empresa Virtual, pela combinação das competências dos diferentes agentes (empresas individuais).

Neste capítulo foi discutido o conceito de Sistema Multi-Agente, e demonstrado como tal paradigma pode ser usado em um cenário de Empresa Virtual. Apresentamos uma arquitectura para os agentes a incluir no SMA, tendo sido também descrita uma ontologia genérica relacionada com os bens que são transaccionados entre as empresas constituintes da Empresa Virtual.

Nos dois próximos capítulos trataremos o processo de negociação que ocorre neste SMA e que culmina na formação da EV capaz de satisfazer uma necessidade de mercado representada no agente mercado.

Capítulo 5

Negociação

Neste capítulo, é inicialmente realizada uma análise do conceito de negociação em sistemas multi-agentes, e justificada a necessidade de automatizar tal negociação em um mercado electrónico. São também apresentados alguns dos mecanismos de negociação mais usuais, e discutida, através da nossa proposta, a sua aplicabilidade no contexto onde se insere o presente trabalho: a formação de uma Empresa Virtual. No final do capítulo é apresentado o protocolo de negociação proposto e desenvolvido neste trabalho, onde a negociação é realizada sobre múltiplos componentes interdependentes (produtos ou serviços), descritos por múltiplos atributos. Os negociantes são empresas que se encontram em um mercado competitivo, e pretendem manter privado, isto é, esconder dos seus competidores e oponentes, o seu modo de avaliação dos bens em negociação.

5.1. Introdução

A negociação é uma forma de tomada de decisão onde duas ou mais partes pesquisam em conjunto (possivelmente em competição) um espaço de soluções possíveis com o objectivo de atingir uma solução comum e aceitável por todas as partes interessadas.

Duas componentes básicas são importantes no projecto de qualquer sistema de negociação automática em um mercado electrónico (ME): protocolo de negociação e estratégias de negociação.

O protocolo de negociação especifica as regras do jogo, isto é, os regulamentos que guiam a interacção entre os participantes. São especificados os tipos de propostas admissíveis e estados possíveis da negociação (ex.: aceitação propostas, término da negociação).

A estratégia de negociação de um agente é o plano de acção usado por este agente com o intuito de atingir o seu objectivo, geralmente traduzida na maximização da sua função de utilidade. *O mecanismo de negociação* consiste no protocolo de negociação, em conjunto com as estratégias de negociação dos agentes envolvidos.

5.1.1. A necessidade da negociação automática em um ME

Um mercado electrónico assenta, geralmente, em um sistema aberto, onde os participantes estão em permanente movimento, entrando e saindo livremente do mercado. O facto de o ME ser um sistema aberto, tem duas implicações imediatas:

- A informação presente no mercado pode ser extensa
  O número de participantes em um mercado electrónico é ilimitado.
- O mercado é dinâmico
  Porque novos participantes surgem no mercado, e outros saem do mercado, a qualquer instante, as ofertas e procuras alteram-se constantemente.

Neste contexto, onde o espaço de soluções é simultaneamente extenso e dinâmico, revela-se extremamente útil a negociação automática. Sem a automação do processo de negociação, a discussão de opções tão inúmeras e complexas seria proibitiva em termos de consumo de tempo.

5.1.2. Requisitos para a negociação em um ME

Em um mercado electrónico, a negociação (quando automática) é realizada por entidades computacionais, em quem os humanos delegaram competências, sobre bens também descritos computacionalmente. Tal facto implica a consideração de dois pontos essenciais: a formulação das preferências negociais, e a descrição apropriada dos bens em negociação.

- Como formular as preferências em uma negociação
  É necessário traduzir as preferências dos humanos em termos que possam ser analisados, comunicados e negociados em um meio computacional. É uma tarefa especialmente difícil porque os humanos não possuem muitas vezes um valor bem definido para a utilidade de certos atributos, e mais que isso, muitas vezes alteram o seu ponto de vista à medida que a negociação decorre. Embora este não seja um assunto incluído no trabalho desenvolvido, refere-se aqui que a *modelação de preferências de um utilizador* por parte de uma entidade computacional, é uma área de investigação actualmente em desenvolvimento [Dastani *et al.*, 2000] [Cardoso e Oliveira, 2000b].
- Como descrever os bens em negociação
  Para a descrição dos bens em negociação é conveniente usar uma *ontologia* suficientemente clara, de forma a que não ocorra qualquer ambiguidade na identificação e correspondência da procura e da oferta no mercado. A ontologia deve capturar todos os atributos importantes dos bens, com o detalhe necessário a um bom entendimento por parte dos participantes na negociação.

5.2. Caracterização da Negociação

Existem duas aproximações básicas de protocolos de negociação em sistemas de mercado: a negociação distributiva ou competitiva, e a negociação integrativa ou cooperativa [Guttman *et al.*, 1998].

- *Negociação distributiva ou competitiva*

  É o processo de tomada de decisão envolvendo duas ou mais partes, na resolução de um conflito sobre um único objectivo mutuamente exclusivo. A entidades indivisuais tentam maximizar o seu próprio lucro, não levando em consideração o lucro dos outros indivíduos presentes na sociedade. As entidades negociadoras focam a sua atenção em como, defendendo os seus interesses próprios, poderão adquirir a maior "fatia do bolo" disponível. Este tipo de negociação existe em todos os mercados de *soma nula*, onde a alteração do valor de utilidade do bem em negociação, geralmente definido sobre uma única dimensão, beneficia uma das partes e prejudica a outra. Este tipo de negociação é também denominado de negociação "*win-lose*", isto é, as entidades tendem a maximizar a sua utilidade sem levar em consideração a utilidade dos outros participantes. A negociação que ocorre entre participantes oponentes de um leilão (vendedor e comprador) é uma negociação competitiva.

  Na área do comércio, electrónico ou não, pode ocorrer um outro tipo de negociação, denominada *negociação hostil* [Sandholm e Lesser, 1995b], que incluímos como um tipo especial de negociação competitiva. A negociação hostil ocorre quando a utilidade de um agente aumenta não apenas com o seu próprio ganho, mas também com as perdas dos outros. Em um mercado, onde as empresas competem umas com as outras, pode ocorrer negociação hostil. Aqui, o objectivo de uma empresa é muitas vezes, não só aumentar os seus ganhos, mas também tentar eliminar do mercado as outras empresas concorrentes.

- *Negociação integrativa ou cooperativa*

  É o processo de tomada de decisão envolvendo duas ou mais partes na resolução de um conflito sobre múltiplos objectivos inter-dependentes, mas não mutuamente exclusivos. Este tipo de negociação permite que, por manipulação dos múltiplos objectivos em negociação, as partes envolvidas tentem aumentar o "bolo disponível" em vez de simplesmente tentar adquirir certas fatias. Trata-se de um mercado de *soma não nula*, onde o valor de utilidade do bem, porque inclui múltiplas dimensões, sofrendo uma alteração em diferentes direcções, torna possível que todas as pertes envolvidas na negociação beneficiem. Assim, é possível encontrar novos pontos no espaço de soluções que beneficiam ambas as partes: vendedores e compradores. Este tipo de negociação é também denominado de negociação "*win-win*". Este é o caso, por exemplo, quando a negociação ocorre entre departamentos internos de uma mesma empresa. Entidades individuais tentam maximizar o bem-estar social, e estão

dispostas a assumir perdas individuais em serviço da sociedade. Enquanto cada um deles tenta maximizar os seus lucros internos, estão dispostos a aceitar uma solução menos favorável se tal conduzir a uma melhor solução para a empresa. Uma aplicação baseada em estratégia semelhante é o sistema MACIV ("Multi Agent Systems for Resources Management in Civil Construction") para a gestão de recursos distribuídos de uma empresa [Oliveira *et al.*, 1997].

O problema da formação de uma Empresa Virtual é, essencialmente, um problema de negociação competitiva. As empresas participantes na Empresa Virtual são entidades independentes e com interesses próprios, cujo objectivo é sempre a maximização da sua utilidade.

5.2.1. Espaço da negociação

O projecto de um protocolo de negociação adequado, depende de um número de parâmetros que geram um espaço de cenários possíveis. Na área do comércio electrónico, é útil distinguir como parâmetros identificativos do espaço negocial os seguintes: número de participantes, domínio da negociação, objecto da negociação, fixação do acordo negocial. Estes parâmetros de classificação são apresentados na Figura 22, e descritos a seguir.

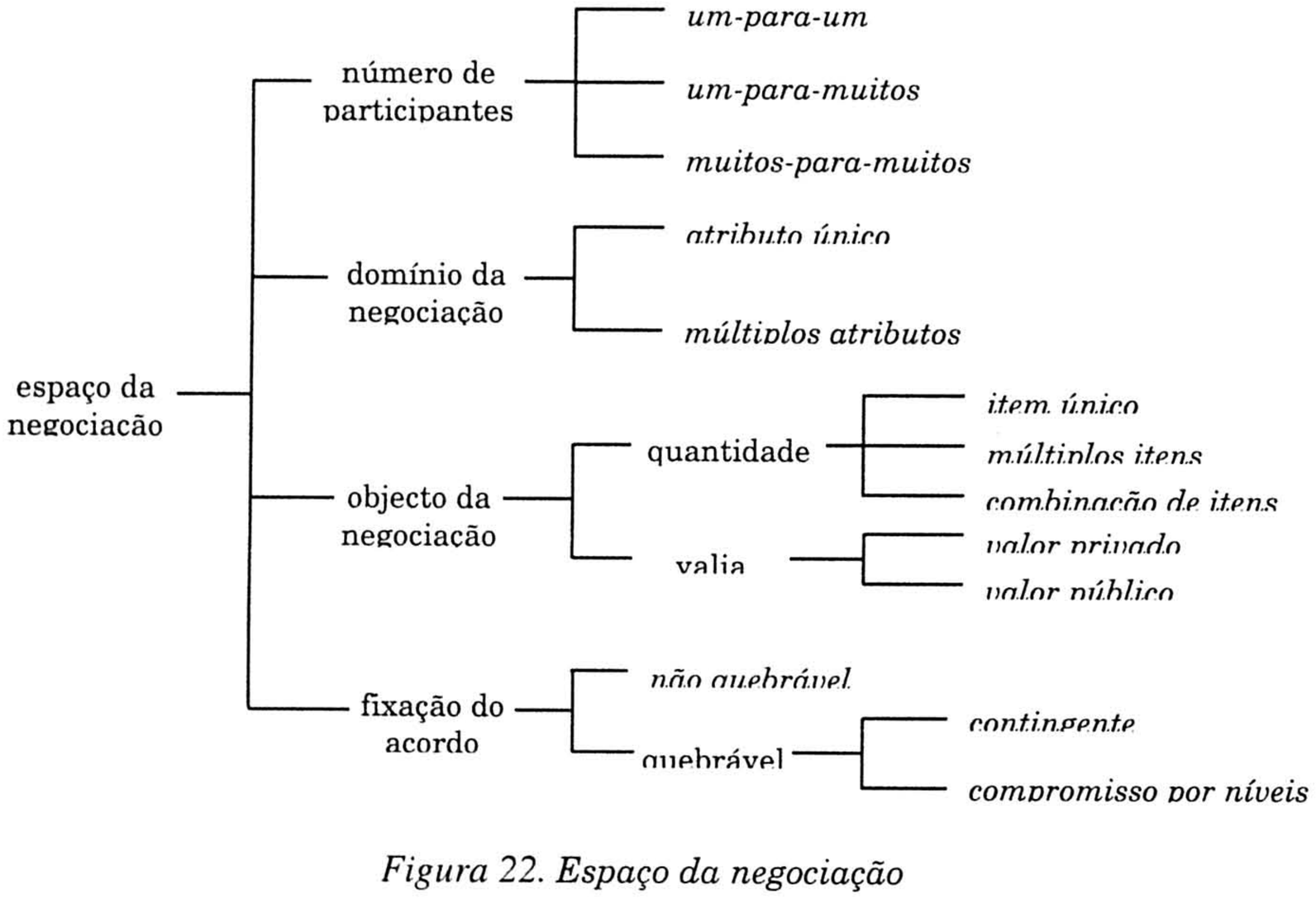


Figura 22. Espaço da negociação

Número de participantes

Os participantes em uma negociação possuem um de dois papéis: contratante e contratado. O contratante é a entidade que pretende atribuir a realização de uma tarefa ou de um papel a uma outra entidade exterior. O contratado é a entidade que possui as capacidades (conhecimento e recursos) necessárias para satisfazer os requisitos do contratante. Considera-

se que o contratante é aquele que dá início à negociação. Assim, por exemplo, no comércio electrónico, o contratante tanto pode ser o vendedor como o comprador do produto a transaccionar, será aquele que em primeiro lugar demonstrou interesse na transacção e consequentemente originou a negociação. Uma negociação é categorizada em número de participantes, de acordo com a existência de uma ou mais entidades em cada um dos dois lados da negociação.

- *Um-para-um*

  Um participante está a negociar com exactamente um outro participante. Na satisfação da necessidade de um participante, apenas existe um outro participante que é capaz de garantir tal satisfação.

- *Um-para-muitos*

  Múltiplos participantes negoceiam com apenas um outro participante. Múltiplos participantes são capazes de satisfazer a necessidade expressa por outro participante. Os leilões tradicionais (leilão inglês, por exemplo) são um caso de negociação um-para-muitos, onde existe um leiloeiro e múltiplos proponentes.

- *Muitos-para-muitos*

  Múltiplos participantes negoceiam com múltiplos participantes. É o cenário mais complexo, e como exemplo podemos referir o leilão duplo contínuo [Wurman *et al.*, 1998].

Domínio da negociação

Por domínio da negociação entende-se o conjunto de informação sobre a qual os participantes irão negociar, que inclui fundamentalmente os atributos sobre os quais é necessário obter um acordo.

- *Atributo único*

  A negociação incide sobre um atributo apenas (geralmente, o preço).

- *Múltiplos atributos*

  A negociação incide sobre múltiplos atributos. No comércio electrónico, por exemplo, a negociação de um produto é realizada com base não apenas no preço, mas também no prazo de pagamento, tempo de entrega, garantias, qualidade, etc. A avaliação dos múltiplos atributos no seu conjunto é uma função complexa, sendo geralmente utilizada uma função de avaliação que combina as utilidades do agente para cada um dos atributos em um valor total.

Objecto da negociação

O objecto da negociação é o item (tarefa, produto ou serviço) ou conjunto de itens que se pretende transaccionar. O objecto da negociação, é não só categorizado de acordo com a quantidade de itens a transaccionar, mas também de acordo com a sua valia.

- Quantidade
  - *Item único*

    O objecto a transaccionar é um item único.
  - *Múltiplos itens*

    O objecto a transaccionar é não só um item, mas sim múltiplas unidades de um mesmo item.
  - *Combinação de itens*

    A negociação não ocorre sobre itens do mesmo tipo, como nos casos anteriores, mas sim sobre uma combinação de vários itens de tipos distintos.
- Valia
  - *Valor privado*

    O valor que um item possui para o participante na negociação, é determinado apenas localmente, e não depende do valor que os outros lhe possam atribuir.
  - *Valor público*

    O valor que um item possui para um participante depende da avaliação dos outros participantes. Por exemplo, os títulos transaccionados em uma bolsa de valores. Ou um item que irá ser objecto de uma posterior negociação (no comércio electrónico, um produto que é adquirido para revenda) tem um valor que depende não só de uma avaliação local, mas também do resultado da posterior negociação com os outros.

Fixação do acordo negocial

Um mesmo indivíduo pode participar em várias negociações em simultâneo, sendo, por isso, muitas vezes exigido que assuma um compromisso relativo ao cumprimento dos acordos assumidos. O compromisso é estabelecido quando um indivíduo se liga a um contrato, e pode ser classificado como [Sandholm, 1999]:

- *Não quebrável*

  Quando o acordo da negociação é estabelecido, nenhuma das partes pode desistir do seu cumprimento.
- *Quebrável*

  Qualquer uma das partes pode desistir do compromisso assumido, de acordo com regras estipuladas no contrato de negociação. Um acordo quebrável é divisível em:

- *Contingente*

  A anulação do compromisso está dependente de eventos futuros. A realização destes contratos é muitas vezes impraticável porque o espaço de combinações de eventos futuros pode ser demasiado grande ou mesmo desconhecido.

- *Compromisso por níveis*

  É especificado no contrato o nível de compromisso assumido, através de valores de penalidade relativos à anulação desse compromisso. Assim, qualquer parte pode desistir do compromisso, se pagar à outra parte os valores anteriormente acordados. Estes valores de penalidade são geralmente dependentes do tempo (de forma crescente), de modo a obrigar os participantes a desistir o mais cedo possível.

O custo de aceitação de uma tarefa depende do número e complexidade de outras tarefas que o indivíduo possui na sua agenda. Teoricamente, este custo deve ser calculado em todos os mundos futuros alternativos, sendo necessário considerar as diferentes combinações de propostas a ser recebidos e/ou envidas, a hipótese de contratos antigos serem quebrados por não satisfação de um compromisso ou a ocorrência de diferentes eventos no ambiente exterior. A determinação do valor do custo de uma tarefa pode não ser um valor exacto, se o agente está a participar em outras negociações cujo resultado é ainda desconhecido. É necessário obter um compromisso entre:

- Obter estimativas mais exactas de custos de tarefas *versus* ser possível entrar em um número elevado de negociações
- Aceitar ou contra-propor cedo *versus* aguardar

5.2.2. Compromisso na negociação

Nos protocolos de negociação tradicionais, quando um contrato é estabelecido, ambas as partes estão comprometidas na realização do contrato, e nenhuma delas pode desistir.

A negociação entre agentes distribuídos teve o seu início na investigação desenvolvida por Smith [Smith, 1980] com o protocolo *Rede Contratual*. Este protocolo, que é básico e permite apenas uma ronda de propostas, foi inicialmente desenvolvido para agentes cooperativos, e foi posteriormente estendido para agentes egoístas e de raciocínio limitado [Sandholm e Lesser, 1995a], onde é incluída a noção de compromisso quebrável bem como a possibilidade de realizar contra-propostas.

No trabalho referido, é introduzida a noção de *níveis de compromisso*, sendo possível quebrar compromissos pelo pagamento de uma penalidade que varia de acordo com o compromisso assumido. Os valores de penalidades são geralmente variáveis em função do tempo ou da ocorrências de determinados eventos, e são definidos quando da formulação de uma proposta.

A anulação de um compromisso de negociação por pagamento de uma penalidade é também usada, agora quando o protocolo utilizado é o leilão de "Vickrey" para um único atributo, por Brandt [Brandt *et al.*, 2000]. Neste trabalho, a geração de uma proposta (por parte de um possível contratado) é afectada de um factor de lucro desejável que é variável de acordo com o facto de este ter ou não vencido a última negociação em que participou com este contratante. A função de penalidade, por parte do contratante, é definida de duas formas possíveis:

- Como função do valor de atribuição da tarefa.
- Como função do valor de custo da tarefa para o agente contratante.

5.3. Mecanismos de negociação

Os sistemas de negociação automática existentes podem ser divididos em três grandes grupos: leilão, teoria dos jogos e outros. Qualquer um deles pode ou não usar tecnologia baseada em agentes inteligentes.

- O leilão [Vulkan e Jennings, 1998] é um mecanismo de negociação muito popular, devido essencialmente à sua simplicidade e à existência de regras pré-definidas. Contudo, é usado apenas em negociações de um único atributo.
- A teoria dos jogos [Rosenschein e Zlotkin, 1994] é um mecanismo de negociação aplicável apenas em contextos com informação e racionalidade perfeitas.
- Existem outros mecanismos de negociação mais flexíveis que os anteriores, sem protocolos tão rígidos, e por isso mais adaptáveis a ambientes abertos e dinâmicos (que é o caso de uma Empresa Virtual).

As subsecções seguintes analisam, separadamente, cada um destes mecanismos de negociação. Uma subsecção final tece alguns comentários à negociação multi-atributo, que apresenta um especial interesse no desenvolvimento do presente trabalho.

5.3.1. Leilão

O leilão é um paradigma muito conhecido e usado em vários sistemas de negociação automática [Brandt *et al.*, 2000] [Oliveira *et al.*, 1999b] [Rodríguez *et al.*, 1997] [Wurman *et al.*, 1998]. A elevada aceitabilidade deste paradigma é explicada pela sua simplicidade e clareza, quer na compreensão das regras, quer na computação dessas mesmas regras, bem como o facto destas regras serem pré-definidas e conhecidas por todos os participantes. Contudo, uma grande desvantagem deste paradigma de negociação é o facto de ser usado em negociações sobre um único atributo. Outras desvantagens do leilão têm a ver com o possível surgimento de "*shills*" e coligações [Guttman e Maes, 1998].

Na descrição seguinte de "*shills*" e coligações, iremos considerar como leiloeiro o vendedor, e como respondentes os compradores.

"*Shills*" são compradores fictícios que são colocados no mercado pelo vendedor, e que injustamente manipulam o valor que o produto tem no mercado, aumentando o valor da proposta apenas com o objectivo de estimular os compradores reais. "*Shills*" podem ser difíceis de detectar, especialmente em um mercado electrónico, onde é relativamente fácil e não dispendioso criar entidades fictícias. O facto de um leilão poder ser eventualmente ganho por um "*shill*", não traz qualquer inconveniente para o vendedor, uma vez que não perde nada e, embora não realize realmente a venda neste leilão, pode realizá-la mais tarde.

Por outro lado, os compradores podem formar coligações, enganando injustamente o vendedor. Coligações, neste contexto, são grupos de compradores que concordam em não realizar propostas uns contra os outros. O resultado é que se torna possível que a coligação consiga comprar produtos por um valor inferior àquele que seria conseguido se os compradores competissem uns com os outros. Tal como os "*shills*", as coligações são difíceis de detectar em um mercado virtual.

Existe um número muito elevado de diferentes tipos de leilão, mas aqui apresentamos apenas os mais frequentemente utilizados em mercados electrónicos. A categorização de um leilão é realizada segundo três dimensões: objecto da transacção, número de participantes, e visibilidade das propostas.

- *Objecto da transacção*

  O objecto da transacção pode ser um item único, múltiplos itens iguais ou uma combinação de diferentes itens.

- *Número de participantes*

  O número de participantes em um leilão pode ser de um-para-muitos (leilão simples), ou de muitos-para-muitos (leilão duplo).

- *Visibilidade da proposta*

  As propostas em análise em um leilão podem ser visíveis para todos os participantes do leilão (leilão aberto), ou visíveis apenas para o(s) leiloeiro(s) (leilão fechado).

Leilão de item único

Os leilões de item único são os leilões mais usualmente encontrados nos mercados electrónicos existentes, porque são de implementação muito simples. A figura seguinte (Figura 23) enumera os diferentes leilões desta subclasse, sendo depois apresentada uma breve descrição de cada um deles. Nessa descrição, e apenas para uma compreensão mais fácil, sem qualquer falta de generalidade, é atribuído ao vendedor o papel de leiloeiro, e aos compradores o papel de licitadores.

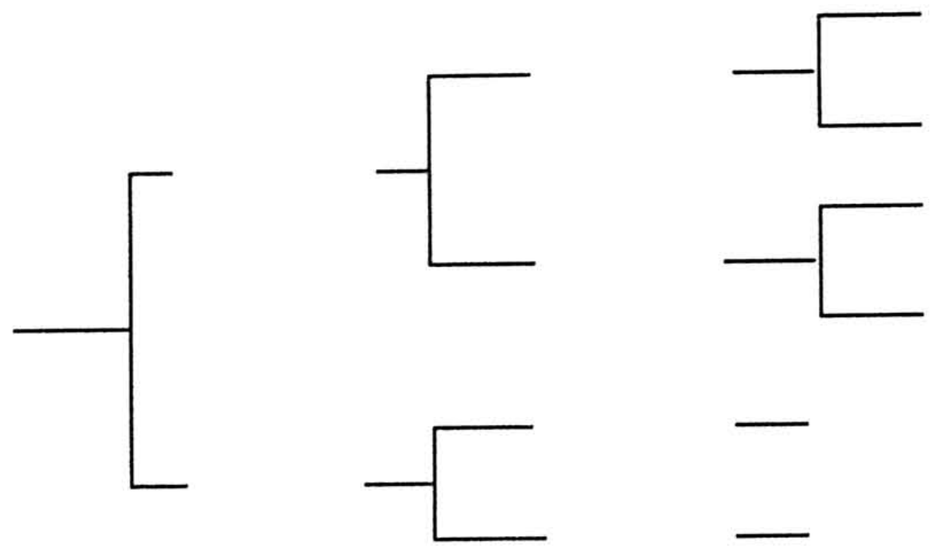


Figura 23. Classificação do leilão (item único)

- **Leilão "primeiro preço"**

  Cada comprador submete uma proposta conhecida apenas do vendedor. O comprador que oferecer a proposta mais elevada é o vencedor, e deve pagar o valor anunciado.

- **Leilão "Vickrey"**

  Cada comprador submete uma proposta conhecida apenas do vendedor. O comprador que oferecer a proposta mais elevada é o vencedor, e deve pagar o valor correspondente à segunda melhor proposta.

  O mecanismo de leilão "Vickrey" é o mecanismo de maior aceitação, devido às suas características:

  - É simples e estável;
  - Não requer negociação iterativa;
  - Requer segurança mínima, pois os agentes não necessitam esconder os seus preços de reserva. Esta afirmação é verdadeira apenas se são satisfeitas duas condições: o produto é de valor privado, e o participante possui racionalidade perfeita [Sandholm e Lesser, 1995b]. Um indivíduo apresenta racionalidade perfeita se consegue calcular com exactidão os custos marginais para as suas tarefas, de uma forma imediata e sem qualquer custo. Na realidade, a racionalidade em uma entidade computacional é limitada porque o uso de recursos computacionais apresentam um custo não nulo e porque as avaliações são afectadas pelo tempo (o ambiente altera-se constantemente, e novas tarefas vão surgindo).

- **Leilão holandês**

  O vendedor anuncia um valor de venda, que decresce gradualmente. O primeiro comprador a aceitar o valor actual é o vencedor.

- **Leilão inglês**

  Cada comprador submete uma proposta, de forma pública. A proposta inicial do comprador corresponde ao seu valor desejado. Os compradores vão oferecendo propostas sucessivamente crescentes (com limite no seu valor de reserva), de modo a ultrapassar propostas oferecidas pelos outros agentes. O leilão termina quando existe

apenas uma proposta. O comprador que ofereceu essa proposta é o vencedor, e deve pagar o valor anunciado.

- **Mercado de liquidação**

  É um leilão fechado. Este leilão reúne as propostas ao longo do tempo, e determina a correspondência entre propostas de compra e venda em intervalos de tempo pré-determinados.

- **Leilão duplo contínuo**

  É um leilão aberto. A correspondência entre propostas é realizada na ordem de recepção destas. Quando é recebida uma proposta, verifica-se de imediato se é possível correspondê-la com outras já existentes. Assim, se é recebida uma proposta de compra, é verificado se existe alguma proposta de venda (se existir é seleccionada a de valor mais baixo) que satisfaça esta proposta.

Leilão de múltiplos itens

Quando o objecto da negociação são múltiplas unidades de um mesmo item, o mecanismo de leilão pode assumir um de três tipos: leilão de preço M+1, leilão de preço M e leilão de correspondência cronológica [Wurman *et al.*, 1998]. Os dois primeiros tipos de leilão são leilões fechados, e o terceiro é um leilão aberto. Os vendedores e compradores realizam propostas para uma ou mais unidades de um item, propostas essas que são depois ordenadas de forma decrescente. A máxima quantidade transaccionada é determinada pela correspondência entre ofertas de venda (começando com o preço mais baixo, e subindo na lista) e ofertas de compra (começando com o preço mais elevado, e descendo na lista). Assim, compradores podem fazer ofertas e vendedores aceitar essas ofertas em qualquer momento.

- **Leilão de preço M+1**

  M é o número de vendedores activos (número de propostas de venda por unidade de produto). O preço de liquidação é o (M+1)-ésimo preço mais elevado especificado em qualquer das propostas, quer de compra, quer de venda. Todas as propostas de compra de valor superior ao preço de liquidação, e todas as propostas de venda de valor inferior ao preço de liquidação, são satisfeitas.

  Considere-se m o número de propostas de venda inferiores ao preço de liquidação, e n o número de propostas de compra superiores ao preço de liquidação. O número de transacções a realizar é igual a a, sendo o preço de transacção igual ao preço de liquidação.

  $a = \min\{m, n\}$

  No caso de existir apenas um vendedor (M=1), este leilão é equivalente ao leilão de segundo preço ("Vickrey").

BIBLIOTECA F.E. PORTO

- **Leilão de preço M**

  M é o número de vendedores activos (número de propostas de venda por unidade de produto). O preço de liquidação é o M-ésimo preço mais elevado especificado em qualquer proposta (de compra e venda). Tal como no caso anterior, todas as propostas de compra de valor superior ao preço de liquidação, e todas as propostas de venda de valor inferior ao preço de liquidação, são satisfeitas.

  No caso de existir apenas um vendedor (M=1), este leilão é equivalente ao leilão de primeiro preço.

- **Leilão de correspondência cronológica**

  Quando é recebida uma nova proposta, é verificado imediatamente se pode ou não satisfazer alguma outra proposta pendente. A porção da nova proposta que é satisfeita, é transaccionada. A porção da nova proposta que fica por satisfazer, é adicionada à lista das propostas pendentes. É um leilão aberto, e pode funcionar como leilão simples e como leilão duplo.

Leilão de combinação de itens

Neste caso, os participantes estão interessados na aquisição de itens apenas quando em combinação com outros itens também a transaccionar [Sandholm, 1999]. Estes tipos de leilão são decompostos, de acordo com a sequência/simultaneidade de ocorrência da negociação dos diferentes itens, em leilão sequencial, leilão paralelo e leilão combinatório.

- **Leilão sequencial**

  Os itens são leiloados um de cada vez. Se um participante está interessado em uma combinação de itens, a realização de propostas torna-se um problema difícil. Isto porque para determinar o quanto um item é valioso para si, o participante tem de adivinhar o que irá receber em leilões futuros. Assim, tem de especular sobre as propostas que os outros irão realizar.

- **Leilão paralelo**

  Os itens são leiloados em simultâneo. A incerteza e a necessidade de adivinhar o futuro não são tão drásticas como no leilão sequencial, embora o problema persista.

- **Leilão combinatório**

  Os proponentes podem realizar propostas sobre combinações de itens. Os participantes podem expressar complementaridades entre itens.

  A determinação dos vencedores e valores das transacções segue o algoritmo de "Groves-Clarke". As propostas vencedoras são aquelas que maximizam o lucro do leiloeiro com a condição de que cada item pode ser atribuído a, no máximo, uma proposta. O valor que o proponente tem de pagar é igual à diferença entre a soma das outras propostas vencedoras se este participante não realizasse qualquer proposta, e a soma das outras propostas vencedoras na situação actual. Assim, o problema de

determinação do valor da transacção tem de ser realizado uma vez na globalidade, e uma vez por participante vencedor sem considerar as propostas deste participante.

O leilão combinatório pode permitir diferentes tipos de propostas a realizar pelos proponentes, sendo classificado como:

- leilão combinatório OU

  Os proponentes podem realizar propostas sobre combinações de itens indivisíveis. Qualquer número destas propostas pode ser aceite.

- leilão combinatório OU exclusivo

  Os proponentes podem realizar propostas sobre combinações de itens, mas apenas uma das propostas poderá ser aceite. Tal facto permite que os proponentes expressem preferências sobre complementaridades.

- leilão combinatório OU - OU exclusivo

  Os proponentes podem realizar propostas sobre combinações de itens, e especificar o número máximo de combinações que poderá ser aceite.

5.3.2. Teoria dos jogos

Na teoria dos jogos, o processo de negociação é iterativo. Os participantes trocam propostas e contra-propostas entre si, relativas a acordos globais a realizar por todos eles, visando atingir os seus objectivos locais a um custo o mais baixo possível [Rosenschein e Zlotkin, 1994]. Em uma qualquer iteração, cada participante propõe o acordo global menos desfavorável para si nesse instante. E em nenhuma iteração, a proposta de um participante pode ter uma utilidade superior à proposta da iteração anterior, isto é, um participante é obrigado a ceder ao longo do processo de negociação.

Este mecanismo de negociação não se revela apropriado para todos os contextos, pois pressupõe a existência de dois pré-requisitos muito limitativos da sua aplicabilidade: informação perfeita e racionalidade perfeita.

Informação perfeita significa que a informação é entendida igualmente por todos os participantes, o que é evidentemente falso em muitas situações. Racionalidade perfeita significa que os participantes são ilimitados computacionalmente, e possuem informação completa quer sobre as suas próprias opções de negociação, quer sobre as opções de negociação dos seus oponentes.

5.3.3. Outros mecanismos de negociação

A tecnologia baseada em agentes permite a implementação de mecanismos de negociação mais flexíveis. Nas secções seguintes, descrevemos alguns desses mecanismos.

5.3.3.1. *Argumentação*

A capacidade mínima requerida para um agente negociador é a habilidade de realizar e responder a propostas. Uma proposta é uma possível solução para o problema actual. Pode corresponder a uma única solução completa, uma única solução parcial, ou um conjunto de soluções parciais ou completas. A geração de uma proposta é realizada pela construção de argumentos para as intenções dos agentes. A negociação procura influenciar os parceiros do negócio, persuadindo-os a agir de uma forma particular.

Argumentos são expressões cujo objectivo é a alteração das intenções (e consequentemente, das acções) da outra parte da negociação, o oponente. Se um agente apenas possui a capacidade de aceitar ou rejeitar propostas provenientes dos outros agentes, a negociação pode tornar-se muito longa (caso de múltiplas rondas) ou ineficiente (uma única ronda). Isto porque o proponente não consegue deduzir o porquê da proposta ter sido rejeitada, se está próximo ou muito afastado de um acordo, ou em que direcção do espaço de soluções se deve encaminhar. A eficiência do protocolo pode ser melhorada se o receptor fornecer algum comentário à proposta que recebeu em vez de simplesmente indicar se a aceita ou rejeita. Este comentário é útil para o agente proponente realizar uma nova proposta (se assim o decidir) na próxima ronda de negociação, podendo agora movimentar-se na direcção de um possível acordo. O comentário pode assumir a forma de [Jennings *et al.*, 1998]:

- *Crítica*

  Comentários sobre quais partes da proposta o agente concorda ou não concorda, por:

  - Indicação de restrições em determinados atributos
  - Indicação de aceitação ou rejeição de determinadas partes da proposta

- *Contra-proposta*

  Proposta alternativa gerada como resposta à que foi recebida. O comentário é enviado de uma forma menos explícita, mas geralmente com maior detalhe, que no caso de uma crítica.

Porque estes construtores (que formam a base de negociação por argumentação), são declarações sem fundamento daquilo que o agente pretende obter, outros construtores foram sendo desenvolvidos e acrescentados:

- Os agentes fornecem argumentos para suporte da sua posição, com o objectivo de modificar a região de aceitabilidade do agente oponente ou a sua função de avaliação sobre essa região. Os tipos de argumentos [Jennings *et al*, 1998] podem ser classificados em *castigo*, *recompensa* e *apelo*.
  - *Castigo*: a não aceitação da proposta por parte do agente oponente significa que algo de negativo lhe irá acontecer.
  - *Recompensa*: a aceitação da proposta por parte do agente oponente significa que algo de positivo lhe irá acontecer.

- *Apelo*: A proposta deve ser preferível, por parte do agente oponente, sobre uma outra alternativa por determinada razão.

- Se às propostas, contra-propostas ou críticas estiver associada uma *explicação* [Parsons et al., 1998], é mais provável que o acordo seja conseguido mais rapidamente. A explicação é uma informação adicional que indica o porquê do envio dessa proposta, contra-proposta ou crítica por parte do agente. É uma forma de justificação que o agente envia como suporte à sua posição. Estes autores também incluem o uso de meta-informação, que focaliza a pesquisa local de soluções do agente. Com a inclusão de informação sobre o porquê da objecção a determinada proposta, o agente pode estar a ajudar a outra parte da negociação a focar a sua pesquisa para outra sugestão mais aceitável. A explicação é uma forma de meta-informação, mas a meta-informação pode ser fornecida sem estar associada a qualquer proposta ou crítica.

5.3.3.2. Planeamento por Contratação

No planeamento por contratação, o protocolo de negociação pode afectar o comportamento estratégico dos participantes, e em particular, a formulação do plano do agente que deu início à negociação [Collins *et al.*, 1998].

A negociação é aqui um processo de interacção que não admite contra-propostas. Decorre em três passos: pedido de propostas, ciclo de ofertas, e decisão. O agente que necessita de ajuda emite um anúncio, os interessados respondem com propostas, e o primeiro finaliza com aceitação da melhor proposta. Após este processo, ambas as partes estão comprometidas na satisfação do acordo, e sujeitas às penalidades de não cumprimento especificadas na transacção. As *penalidades* são especificadas pelo contratante em função do tempo, sendo tanto mais elevadas quanto mais tarde o agente contratado decidir não cumprir o acordo. Trata-se de um protocolo de "compromisso por níveis".

O contratante desenvolve um plano para satisfação do seu objectivo, e anuncia ao mercado as subtarefas exigidas. Este anúncio inclui a descrição da tarefa, o tempo limite para execução da tarefa, o tempo limite para envio de proposta, o tempo ao fim do qual o contratante irá começar a considerar as propostas, o tempo a partir do qual serão enviadas as mensagens de aceitação da proposta, um conjunto de relações de precedência, e as funções de penalidade. O contratante colecciona as propostas emitidas pelos vários interessados, e avalia-as. O objectivo é encontrar uma combinação de tarefas que minimize a combinação de custo e risco (factores de risco incluem, além de outros valores, o custo esperado das penalidades associadas à anulação de compromissos e o custo de falha do plano), e permita a cobertura de todas as tarefas. Se não for possível satisfazer o plano inicial, ou o contratante não estiver satisfeito com as propostas recebidas, pode alterar o plano, e anunciar novas tarefas a ser satisfeitas. No final, envia os contratos correspondentes aos agentes seleccionados. As interacções podem-se

tornar bastante complexas durante o processo de negociação, pois qualquer dos contratados pode anular o compromisso anteriormente estabelecido (pagando a penalidade respectiva), e, neste caso, o contratante necessita refazer o seu plano e reformular pedidos.

5.3.3.3. Aproximação Heurística

Este mecanismo de negociação [Jennings *et al.*, 2000] pressupõe que os agentes possuam um conjunto de *tácticas de negociação*, sendo as propostas trocadas pelos participantes geradas por uma combinação linear destas. As tácticas definem o comportamento de negociação do agente de uma forma heurística, e são classificadas em três classes distintas [Faratin *et al.*, 1998]:

- *Tácticas dependentes do tempo.* Os agentes realizam as suas propostas de acordo com o tempo que dispõem para negociar.
- *Tácticas dependentes de recursos.* Os agentes realizam as suas propostas com base na disponibilidade de um determinado recurso. Estas tácticas são semelhantes às dependentes do tempo, só que o domínio da função usada é a quantidade de um recurso que não o tempo (por exemplo, o número de participantes activos).
- *Tácticas dependentes do comportamento.* Os agentes tentam imitar o comportamento dos seus oponentes.

5.3.4. A negociação multi-atributo

A decisão da negociação incide, muitas vezes, não sobre único atributo, mas sim sobre múltiplos atributos que devem ser considerados em simultâneo. Por exemplo, na compra de um qualquer produto de consumo, o comprador considera, concerteza, o preço como um atributo importante para a sua decisão. Mas o tempo de entrega, ou a qualidade do produto também poderão ser, e geralmente são, factores a ponderar na decisão de comprar ou não um determinado produto.

A atribuição de valores utilidade aos diferentes atributos em negociação resolve o problema da avaliação multi-atributo. Geralmente, a fórmula de avaliação de uma proposta é simplesmente uma combinação linear dos valores correspondentes dos atributos, ponderados pelos valores das utilidades respectivas. Assim, uma negociação multi-atributo é simplesmente convertida em uma negociação de atributo único, a realizar sobre o valor da função de avaliação. Exemplos de utilização deste método de conversão de uma negociação multi-atributo em atributo único são a seguir indicados:

- [Oliveira *et al.*, 1999a]
  É usado o leilão "Vickrey" na negociação da compra de um automóvel, existindo um comprador e vários vendedores. Está em discussão, não apenas o preço do automóvel, mas vários outros atributos: nº portas, capacidade bagageira, velocidade máxima, etc.

- [Vulkan e Jennings, 1998]
  É usado o leilão inglês na negociação de serviços vários, descritos por múltiplos atributos.
- [Matos e Sierra, 1998], [Cardoso e Oliveira, 2000]
  É usado o mecanismo de negociação heurística, onde as propostas e contra-propostas são o resultado de uma combinação ponderada das diferentes tácticas.

Todos estes trabalhos obrigam à atribuição de um valor numérico à utilidade de cada atributo. Contudo, em alguns casos, pode ser difícil especificar em um valor numérico exacto a utilidade que um atributo representa. Uma situação mais natural, é simplesmente impor uma ordem preferencial sobre os valores do domínio dos diferentes atributos ou sobre os próprios atributos. Esta solução é a adoptada no protocolo de negociação desenvolvido neste trabalho, e apresentada na secção seguinte.

5.4. Um modelo de negociação para a formação de EVs

Nesta secção, é descrito o modelo de negociação proposto por nós no contexto da fase de formação da Empresa Virtual. O mecanismo de negociação deve permitir a selecção dos participantes que, com base nas suas competências e disponibilidade, serão capazes de realizar o acordo óptimo na formação da EV. Neste contexto, um mecanismo de negociação automática deve considerar três pontos essenciais:

- No contexto de formação de uma Empresa Virtual, a negociação sobre quais as empresas a seleccionar como membros da EV incide sobre a selecção de quais os bens com que estas empresas irão participar na EV. Estes bens são geralmente definidos por múltiplos atributos. A negociação deve permitir uma avaliação sobre múltiplos atributos, quando da selecção de propostas. Este assunto é discutido nas próximas secções.
- O mercado electrónico é um mercado aberto, e necessariamente dinâmico. Por outro lado, os participantes em uma transacção comercial, geralmente mantêm as suas preferências privadas, para não ceder qualquer poder negocial ao oponente. A aprendizagem é uma ferramenta útil na negociação quando esta se realiza em um ambiente dinâmico e com informação não totalmente conhecida. Este assunto é discutido no próximo capítulo (capítulo 6).
- Na formação da empresa virtual, o objecto da negociação é constituído por múltiplos componentes, que são interdependentes. A negociação deve tratar tais dependências, obrigando a que a solução final acordada seja coerente. Este assunto é discutido no próximo capítulo (capítulo 6).

5.4.1. Descrição formal

Na formação de uma Empresa Virtual, os *participantes* no processo de negociação são de dois tipos: o agente **mercado**, e o agente **empresa**. O agente mercado é também denominado de *agente organizador*, pois é este agente que anuncia a necessidade de transaccionar algo, dando assim início à negociação. Os agentes empresa são denominados de *agentes respondentes*, pois são estes agentes que irão responder à transacção anunciada pelo agente organizador.

Agente organizador e agente respondente são termos usuais no contexto da negociação, que aqui são substituídos por agente mercado e agente empresa, porque estes são termos mais descritivos da função dos respectivos agentes no sistema.

O *objecto* da negociação no contexto de formação de uma Empresa Virtual é o bem que esta deverá disponibilizar. O bem, segundo a ontologia apresentada no capítulo anterior, é formado por um conjunto de componentes, e cada um destes componente é definido por múltiplos atributos. A negociação de um bem implica a existência de n negociações, em que n é o número de componentes desse bem.

O ***processo de negociação*** é visto por um *Agente Mercado* como especificado na estrutura seguinte:

$$Neg = \langle Cmpt, LAgts, H \rangle$$

1. *Cmpt* é a identificação do componente em negociação.
2. *LAgts* é uma lista que contém os identificadores dos agentes empresa que pretendem disponibilizar o componente *Cmpt*.
3. *H* é a história da negociação. Cada elemento desta lista (H_t) contém informação relativa a uma ronda de negociação. Uma ronda de negociação inclui a informação relativa a todas as propostas recebidas pelo agente mercado nesse ronda.

$$H = \{H_t\}$$
$$H_t = \{\langle Prop_{ti}, Aval_{ti} \rangle\}$$
$$Prop_{ti} = \langle Val_1, Val_2, \ldots, Val_k \rangle$$

- $Prop_{ti}$ é a proposta enviada pelo agente empresa i, na ronda t.
- Val_x é o valor do atributo x.
- $Aval_{ti}$ é a avaliação que o agente mercado atribui à proposta $Prop_{ti}$.

O ***processo de negociação*** é visto por um *Agente Empresa* como especificado na estrutura seguinte:

$$Neg = \langle Cmpt, AgtM, H, Q \rangle$$

1. *Cmpt* é a identificação do componente em negociação.
2. *AgtM* é a identificação do agente mercado.
3. *H* é a história da negociação. Cada elemento desta lista contém informação relativa a uma ronda de negociação.

$$H = \{\langle Prop_t, Coment_t \rangle\}$$

$$Prop_t = \langle Val_1, Val_2, \ldots, Val_k \rangle$$

$$Coment_t \in \{vencedor, \langle Clas_{t1}, Clas_{t2}, \ldots, Clas_{tk} \rangle\}$$

   - $Prop_t$ é a proposta enviada por este agente na ronda t.
   - $Coment_t$ é o comentário do agente mercado à proposta $Prop_t$. Este comentário é a indicação de que esta é a proposta vencedora na ronda actual, ou a classificação desta proposta do ponto do vista do agente mercado

4. *Q* inclui informação relevante a ser utilizada pelo algoritmo de aprendizagem. A aprendizagem é discutida no próximo capítulo. Para já, apenas se indica que *Q* é um conjunto de elementos com a seguinte estrutura:

$$Q_t = \langle Estado, Acção, ValorQ \rangle$$

5.4.2. Protocolo de negociação

O agente mercado tem a função de seleccionar as empresas que irão formar a EV, com o intuito de satisfazer um *bem* específico. Este bem, que está descrito no agente mercado, é formado por um conjunto de *componentes* possivelmente interdependentes. Para a obtenção de cada um destes componentes, é efectuada uma negociação, existindo então no mercado *n* negociações simultâneas (*n* é o número de componentes do bem).

- Uma negociação inicia-se quando o agente mercado envia um anúncio indicando a necessidade de obtenção de um componente.
- Os agentes empresa que possuam competências para produzir esse componente, respondem com uma proposta.
- O agente mercado avalia as propostas recebidas, e envia para os agentes empresa respectivos, algum comentário à sua proposta. Este comentário permitirá aos agentes empresa realizar, em uma próxima ronda, novas propostas que melhor satisfaçam o agente mercado.

- Quando o agente mercado recebe uma proposta satisfatória (com utilidade superior a um valor pré-definido), a negociação termina com o envio de uma mensagem ao agente empresa respectivo, informando-o do seu novo compromisso como membro da EV.

A Figura 24 ilustra este protocolo de negociação [Rocha e Oliveira, 2000], que é descrito com maior detalhe nas secções seguintes.

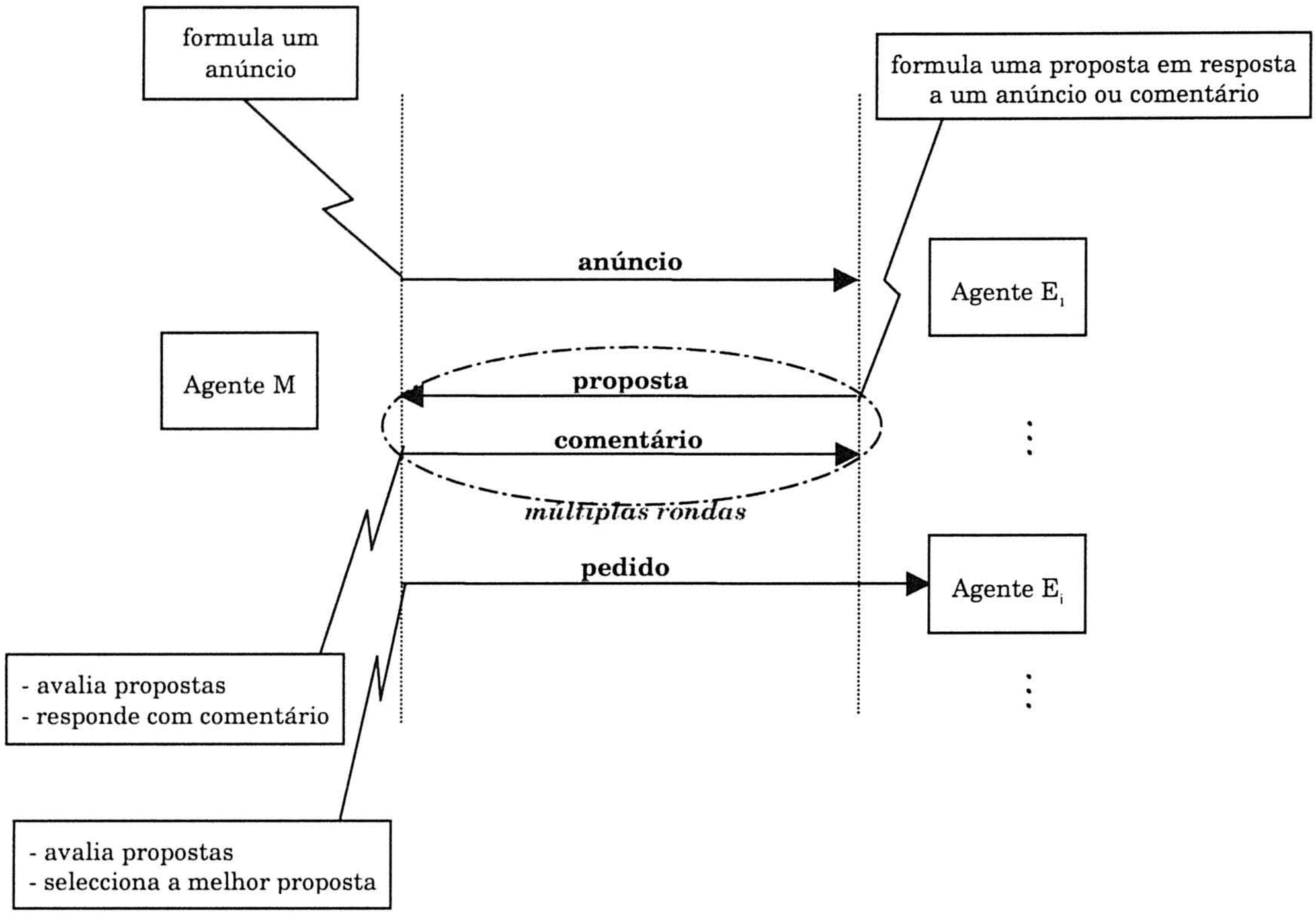


Figura 24. Protocolo de negociação

5.4.3. Formulação do anúncio

O *Agente Mercado*, e de acordo com a informação presente no seu módulo "Descritor do Objectivo", envia para o mercado mensagens relativas à necessidade de obtenção de componentes específicos. Cada uma destas mensagens inicia um processo de negociação, e inclui a seguinte informação:

anuncio (AgM, Cmpt, Vals)

- *AgM* é o identificador do agente mercado.
- *Cmpt* é o identificador do componente que constitui o objecto da negociação.
- *Vals* é uma lista dos valores admissíveis para os diferentes atributos. Cada elemento da lista contém a seguinte informação: $(Atb_i , Valor_i)$

  Atb_i é o identificador do atributo i, e $Valor_i$ é o valor admissível para esse atributo.

5.4.4. Formulação da proposta

Em resposta a um anúncio, ou a um comentário, o agente empresa com competência para satisfazer tal anúncio, formula uma proposta. Na primeira ronda de negociação, e porque o agente empresa não conhece, nem consegue deduzir, as preferências do agente mercado, esta proposta é realizada unicamente com base nas preferências do próprio agente empresa, mas satisfazendo os valores admissíveis para o agente mercado. Assim, a proposta irá conter os valores que o agente empresa definiu como sendo preferenciais para si (esta informação está contida no módulo "Conhecimento Individual" que inclui as capacidades do agente).

Em rondas de negociação que não a primeira, a formulação de uma proposta é realizada de acordo, não só com as preferências do agente, mas também com base no comentário recebido do agente mercado. Na formulação dessa proposta é usada uma versão do algoritmo de aprendizagem-Q, onde se tenta seguir as preferências do agente mercado através da informação escrita no seu comentário. Este processo de aprender a formular novas propostas é descrito no capítulo seguinte.

A mensagem relativa à proposta enviada por um agente empresa ao agente mercado, inclui a seguinte informação:

proposta (AgE, Pr, Cmpt, Vals)

- *AgE* é o identificador do agente empresa.
- *Pr* é o identificador da proposta.
- *Cmpt* é o identificador do componente em negociação.
- *Vals* é uma lista dos valores propostos para os diferentes atributos. Cada elemento da lista contém a seguinte informação: $(Atb_i, Valor_i)$

  Atb_i é o identificador do atributo i, e $Valor_i$ é o valor proposto para esse atributo.

Quando o agente empresa reconhece a existência de dependências entre o componente *Cmpt* agora em negociação, e outros componentes (esta informação está contida no módulo "Conhecimento Individual"), envia esses dados ao agente mercado. Se eventualmente, os componentes dependentes deste estiverem actualmente em negociação, o agente mercado tem de garantir a consistência da solução final. Não iremos aqui descrever como estas dependências são resolvidas, apenas referimos a sua existência. Tal resolução é um assunto descrito no próximo capítulo (capítulo 6).

5.4.5. *Avaliação de propostas e formulação de comentário*

Avaliação de propostas

A avaliação de propostas, por parte do agente mercado, é realizada através de uma função multi-atributo que codifica quer as preferências relativas dos atributos, quer as preferências dos valores a atribuir a cada atributo.

Como já foi referido anteriormente, e contrariamente a outros estudos desenvolvidos na negociação multi-atributo, no nosso trabalho a avaliação das propostas é realizada de forma qualitativa e não quantitativa [Rocha e Oliveira, 2000]. Não é atribuído um valor numérico para definição da utilidade de um atributo, antes a utilidade é codificada na sua preferência relativa.

O agente mercado avalia as propostas recebidas dos agentes empresa segundo a função:

$$Aval = \begin{cases} \dfrac{1}{Desvio} & , \quad se\ Desvio \neq 0 \\ óptimo & , \quad se\ Desvio = 0 \end{cases} \qquad (1)$$

$$Desvio = \frac{1}{\sum_{i=1}^{k} i} * \sum_{i=1}^{k} (k - i + 1) * dif\left(PrefV_i, V_i\right), \text{ onde:} \qquad (2)$$

k = número de atributos que identificam o componente em negociação, e

$0 \leq dif(\Pr efV_i, V_i) \leq 1$, sendo

$$dif\,(PrefV_i, V_i) = \begin{cases} \dfrac{PrefV_i - V_i}{max_i - min_i} & , \quad se\ domínio\ contínuo \\ \dfrac{Pos(PrefV_i) - Pos(V_i)}{kvalores} & , \quad se\ domínio\ discreto \end{cases} \qquad (3)$$

Na fórmula (2), as parcelas do somatório aí indicado, são presentes em uma ordem decrescente de preferência. Assim, o atributo identificado com o número 1 (i=*1*) é aquele que o agente mercado classifica como o mais importante, e o atributo identificado com o número k (i=k) é o menos importante. Uma vez que $dif(PrefV_i, V_i)$ é sempre inferior à unidade, as parcelas correspondentes aos atributos mais importantes têm um peso superior no cálculo do valor do desvio (fórmula (2)).

O resultado desta fórmula quantifica o quanto a proposta se desvia dos valores considerados óptimos pelo agente mercado. Assim, a avaliação de uma proposta é aqui definida como o valor inverso deste desvio (fórmula (1)).

A função *dif(PrefV$_i$,V$_i$)* (fórmula (3)) quantifica o grau de aceitabilidade, para um atributo i, do valor actual (V_i) proposto por um agente empresa específico, quando comparado com o valor preferencial do agente mercado *(PrefVi)*.

- Se o domínio dos valores do atributo é contínuo, esta quantificação é simplesmente a diferença normalizada dos dois valores: V_i e $PrefV_i$.
- Se o domínio dos valores do atributo é discreto, o resultado da função *dif(PrefV$_i$,V$_i$)* é calculado como a diferença normalizada das preferências atribuídas a V_i e $PrefV_i$. Isto é, a diferença entre as posições relativas destes dois valores, na especificação dos valores enumerados do domínio[7].

A proposta que apresentar o valor de avaliação mais elevado, é considerada a proposta vencedora na actual ronda de negociação, pois esta é a proposta que apresenta os valores de atributos mais próximos dos considerados óptimos pelo agente mercado.

Convém também referir que a avaliação de cada um dos agentes participantes na negociação é privada. A função de avaliação de um agente não é conhecida dos restantes participantes (contrariamente ao que é defendido, por exemplo, em [Oliveira *et al.*, 1999a] e [Vulkan e Jennings, 1998]).

Formulação de comentário

Após a avaliação de todas as propostas, o agente mercado envia aos agentes empresa respectivos um comentário relativo à sua proposta. Este comentário não inclui o resultado da função de avaliação realizada pelo agente mercado, mas procura direccionar o agente empresa a realizar novas propostas que melhor o satisfaçam, indicando o porquê da sua não aceitação. Pode-se dizer que, neste passo, a negociação assenta em uma argumentação crítica.

O comentário que o agente mercado realiza relativamente a uma determinada proposta é o resultado da comparação dessa proposta com a proposta actualmente vencedora. O porquê de efectuar esta comparação sobre a proposta actualmente vencedora, e não sobre os valores óptimos do agente, é suportada pelo facto de que é, supostamente, mais fácil convencer um oponente a alterar a sua proposta de negociação se este souber que existe no mercado um seu competidor que oferece uma melhor proposta.

A comparação entre os valores das propostas (a proposta vencedora e a proposta a comentar) é realizada pelo agente mercado através de uma classificação qualitativa em três classes: *suficiente*, *mau*, *medíocre*. O algoritmo seguinte descreve este processo.

---

[7] Relembra-se que os valores do domínio de um atributo discreto são definidos através de uma lista ordenada por preferência.

Considerando-se:

- w a identificação da proposta actualmente vencedora.
- V_{ip} o valor do atributo i da proposta p.
- $\Delta_{ip} = dif(PrefV_i, V_{ip})$ o valor da função diferença entre o valor preferencial e o valor da proposta p.
- δ_1 e δ_2 os valores estipulados para classificar o decréscimo de solução ($0 < \delta_1, \delta_2 < 1$).

As classificações das propostas são obtidas de acordo com o seguinte procedimento:

Para todas as propostas $p \neq w$, fazer

Para todos os atributos i, fazer

Se $\Delta_{ip} < \Delta_{iw}$ então ***Classificação*** = *suficiente*[8]

Senão Se $\frac{\Delta_{ip} - \Delta_{iw}}{\Delta_{iw}} < \delta_1$[9] Então ***Classificação*** = *suficiente*

Senão Se $\frac{\Delta_{ip} - \Delta_{iw}}{\Delta_{iw}} < \delta_2$ Então ***Classificação*** = *mau*

Senão ***Classificação*** = *medíocre*

As classificações das propostas são enviadas, pelo agente mercado, aos respectivos agentes empresa, como um comentário, que pretende mostrar a estes a razão pela qual a sua proposta não foi seleccionada como a vencedora:

comentario (Pr, Classifs)

- *Pr* é o identificador da proposta.
- *Classifs* é uma lista das classificações dos valores propostos nos diferentes atributos. Cada elemento desta lista contém a seguinte informação: $(Atb_i, Classif_i)$ Atb_i é o identificador do atributo i, e $Classif_i$ a classificação do valor proposto para i.

Para o agente emissor da proposta actualmente vencedora, é enviado como comentário a informação de que a sua proposta é a proposta actualmente vencedora:

comentario (Pr, vencedora)

- *Pr* é o identificador da proposta

[8] A proposta p é superior à proposta w, relativamente aos valores deste atributo i.

[9] A proposta p é inferior à proposta w em $\delta_1 \times 100\%$ (máximo).

Os agentes empresa, à excepção do vencedor corrente, após receber este comentário, irão realizar uma nova proposta na próxima ronda, levando em consideração a classificação agora obtida. A informação contida neste comentário servirá também para o agente emissor actualizar as suas *crenças* relativamente às preferências do agente mercado, e capacidades dos outros agentes empresa.

5.4.6. Formulação do pedido

A selecção de uma proposta como vencedora final da negociação, e selecção do respectivo agente empresa como membro da EV, é realizada quando a negociação termina. A negociação termina quando:

- O agente mercado recebe uma proposta que possui um valor de avaliação satisfatório, isto é, que é superior a um limiar pré-definido pelo agente.
- O tempo limite estipulado para a negociação (pelo agente mercado) terminou. O agente selecciona então a melhor proposta recebida até ao momento e, se o valor de avaliação desta é razoável, a negociação termina com sucesso; caso contrário, a negociação termina com insucesso.

Quando é seleccionado um agente empresa como vencedor da negociação, é-lhe enviada, pelo agente mercado, uma mensagem indicativa desse facto:

pedido (Pr)

- *Pr* é o identificador da proposta. O agente empresa está comprometido a satisfazer o pedido de acordo com os valores inscritos na proposta *Pr*.

A fase de formação da Empresa Virtual termina quando todas as negociações relativas aos componentes que compõem o *bem* necessário ao mercado estão terminadas.

5.5. Conclusão

No comércio tradicional, é natural que os humanos troquem entre si propostas e contra-propostas tentando cada um deles convencer o seu oponente a modificar os valores dos atributos em negociação que para si são mais importantes. No comércio electrónico, também é possível, e até desejável, que a negociação ocorra nestes termos. Os participantes não se conhecem pessoalmente, o seu comportamento negocial é necessariamente diferente, e o número de possíveis compradores e vendedores de um mesmo bem pode ser extremamente elevado. A negociação como um processo iterativo permite tentar de forma mais exaustiva a obtenção de um bom acordo comercial.

Neste capítulo foi descrito o protocolo de negociação desenvolvido, com o objectivo de seleccionar, em um mercado electrónico, os parceiros mais adequados para formar uma Empresa Virtual de acordo com uma necessidade específica. A negociação, neste contexto, é

necessariamente competitiva, onde cada empresa (possível membro da EV) procura maximizar o seu lucro próprio. De entre as características mais relevantes do protocolo de negociação proposto salientamos os pontos seguintes:

- Na negociação é utilizada a *argumentação*, sendo realizado um comentário (crítica) a uma proposta por meio de uma avaliação qualitativa dos valores aí apresentados.
- A avaliação das propostas é realizada *qualitativamente* sobre *múltiplos atributos*.
- A avaliação que cada participante faz, sobre cada um dos atributos em causa na negociação, é uma informação mantida *privada*. Contudo, esta informação está presente, de uma forma indirecta, no comentário que o organizador da negociação efectua sobre as propostas que vai recebendo.

De acordo com a caracterização da negociação, realizada no início deste capítulo, o protocolo de negociação aqui descrito é classificado do seguinte modo:

- Número de participantes: *um-para-muitos*
- Domínio da negociação: *múltiplos atributos*
- Objecto da negociação
  - Quantidade: *combinação de itens*

    (O processo de formação de uma Empresa Virtual inclui não uma, mas sim *n* negociações interdependentes, uma sobre cada um dos componentes que compõem o *bem* que é o objectivo da EV. No próximo capítulo, quando for estudado o processo de resolução das interdependências entre os vários componentes, esta característica tornar-se-á mais evidente.)
  - Valia: *valor privado*
- Fixação do acordo negocial: *não quebrável*

O capítulo seguinte completa a definição deste processo por nós proposto para a negociação, incluindo a tarefa de formulação de novas propostas com base nos comentários recebidos do agente mercado, e a resolução de interdependências entre as várias negociações simultâneas, correspondentes aos vários componentes que constituem o bem a disponibilizar pela Empresa Virtual.

Capítulo 6

Características Avançadas na Negociação

A negociação entre agentes representativos de empresas individuais, em um mercado electrónico, com vista à formação da Empresa Virtual, coloca a este processo alguns requisitos adicionais já referidos no capítulo anterior: a necessidade de o agente ser capaz de aprender, para competir em um ambiente dinâmico, e a necessidade de resolução de interdependências entre as negociações simultâneas.

A primeira parte deste capítulo estuda a aprendizagem em sistemas multi-agentes. É realizada uma análise dos sistemas de aprendizagem no contexto dos sistemas multi-agentes actualmente existentes, e é descrito o algoritmo por nós usado (Negociação-Q) neste contexto de negociação da formação da Empresa Virtual.

A segunda parte do capítulo refere o problema de resolução de dependências distribuídas. São descritos alguns métodos de resolução existentes, procurando identificar o contexto de aplicabilidade de cada um deles. É também descrito o algoritmo por nós proposto na resolução de dependências distribuídas no contexto de formação da Empresa Virtual (interdependências entre negociações simultâneas).

É portanto neste capítulo que apresentamos algumas das contribuições mais significativas do nosso trabalho.

6.1. Introdução

A aprendizagem em um ambiente multi-agente pode ajudar os agentes a melhorar o seu desempenho, permitindo adquirir experiência a partir de interacções anteriores em que tenha participado, ou mesmo durante a interacção actual. O comportamento cooperativo pode tornar-se mais eficiente quando os agentes se adaptam à informação sobre o ambiente e sobre os seus parceiros. Os agentes devem possuir a habilidade de aprender, especialmente em um mercado electrónico, onde o ambiente se altera rapidamente devido ao possível surgimento de novos participantes ou desistência dos actuais, ou ainda devido apenas ao facto de a avaliação dos produtos ou serviços em negociação ser dependente de factores dinâmicos (tempo, por exemplo) de forma diferente para os diferentes participantes.

Na resolução de problemas em sistemas multi-agentes, podem ser detectadas dependências entre as soluções locais dos vários agentes que participam nessa resolução. Estes agentes necessitam comunicar entre si a informação suficiente para identificar e resolver as

dependências detectadas. No contexto de formação da Empresa Virtual, estas dependências registam-se entre as negociações simultâneas que ocorrem no mercado (uma para cada um dos componentes que constituem o bem final a ser disponibilizado pela EV).

As secções seguintes descrevem estes dois tópicos, apresentando uma proposta de resolução adaptada para a negociação na formação de uma Empresa Virtual.

6.2. Conceito de Aprendizagem

Dois paradigmas constituem as direcções principais de investigação nas áreas conjuntas de aprendizagem e sistemas multi-agente [Goldman e Rosenschein, 1996]: aprendizagem em um sistema multi-agente e sistema de aprendizagem multi-agente.

- Aprendizagem em um sistema multi-agente

  O agente aprende com base em um "feedback" que recebe do ambiente no qual está inserido. Este ambiente inclui, obviamente, os outros agentes. O comportamento destes agentes é interpretado e codificado pelo ambiente em um único valor, sendo essa a informação que o agente aprendiz recebe. O agente decide qual a próxima acção a realizar, com o objectivo de maximizar este valor de "feedback". O agente sabe da existência de outros agentes indirectamente pelo valor de "feedback" que recebe do ambiente.

- Sistema de aprendizagem multi-agente

  Neste caso, o agente aprende durante a interacção que mantém com os outros agentes do sistema. Cada agente aprende directamente com cada um dos outros agentes.

Em qualquer destes casos, a aprendizagem tem início quando o agente recebe algum "feedback" resultante de uma acção que executa. É com base nessa informação que o agente aprende a melhorar o seu comportamento. De acordo com o conteúdo dessa informação de "feedback", podemos dividir o processo de aprendizagem em três categorias distintas [Weiβ,1996], [Russell e Norvig, 1995]: aprendizagem supervisionada, aprendizagem por reforço, e aprendizagem não supervisionada. Nas secções seguintes são descritas cada uma destas categorias.

6.2.1. Aprendizagem supervisionada

A aprendizagem é realizada com a ajuda de um supervisor. Ao agente são apresentados um conjunto de exemplos que irão ditar o seu comportamento. Utilizando estes exemplos para aprender, o agente tenta definir os seus planos de acção, isto é, como actuar em determinada situação (entrada) para obter um determinado resultado (saída). O objectivo da aprendizagem é seguir com a maior exactidão possível a actividade especificada pelo supervisor (ver Figura 25).

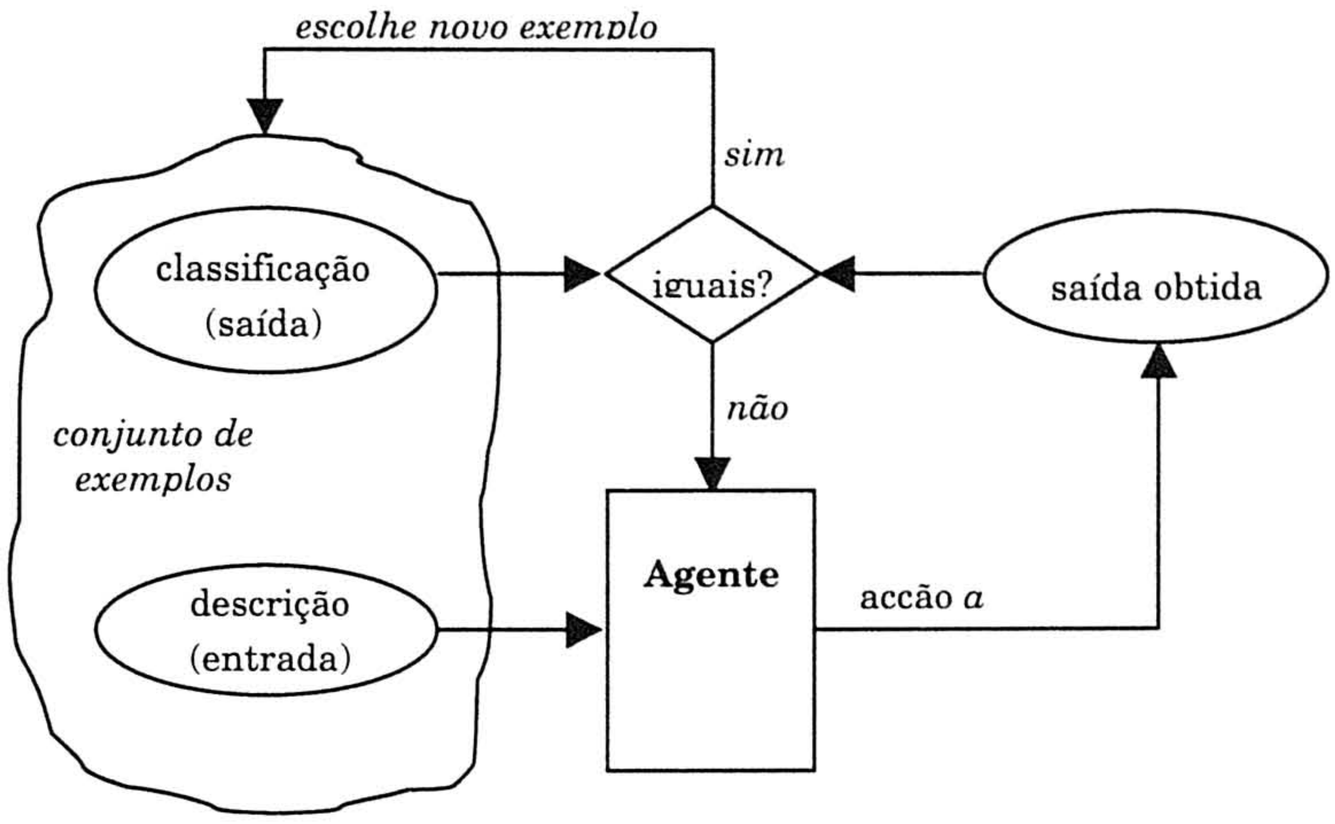


Figura 25. Aprendizagem supervisionada

6.2.2. Aprendizagem por reforço

Os sistemas usando aprendizagem por reforço aprendem como se comportar através de interacções de tentativa e erro com o ambiente [Sutton e Barto, 1998]. Contrariamente aos sistema usando aprendizagem supervisionada, não são requeridos exemplos de pares entrada-saída da função a ser aprendida mas, em vez disso, o sistema recebe do ambiente uma avaliação numérica para cada acção seleccionada em um determinado estado. O ambiente transmite um "feedback" ao agente que está a aprender, e que funciona como uma crítica, a usar por este no processo de aprendizagem. A aprendizagem por reforço é baseada na ideia de recompensar acções que produzam bons resultados, e punir acções que produzam maus resultados.

O processo desenrola-se de acordo com os seguintes procedimentos (ver Figura 26):

- O agente encontra-se no estado actual *e*, e selecciona uma acção *a*.
- A execução da acção *a* conduz o agente ao novo estado *e'*.
- O estado *e'* é avaliado pelo ambiente. O resultado dessa avaliação é comunicado ao agente através de um valor numérico *r,* denominado recompensa.
- O agente deve seleccionar acções que tendam a aumentar a soma dos valores de recompensa que este vai recebendo.

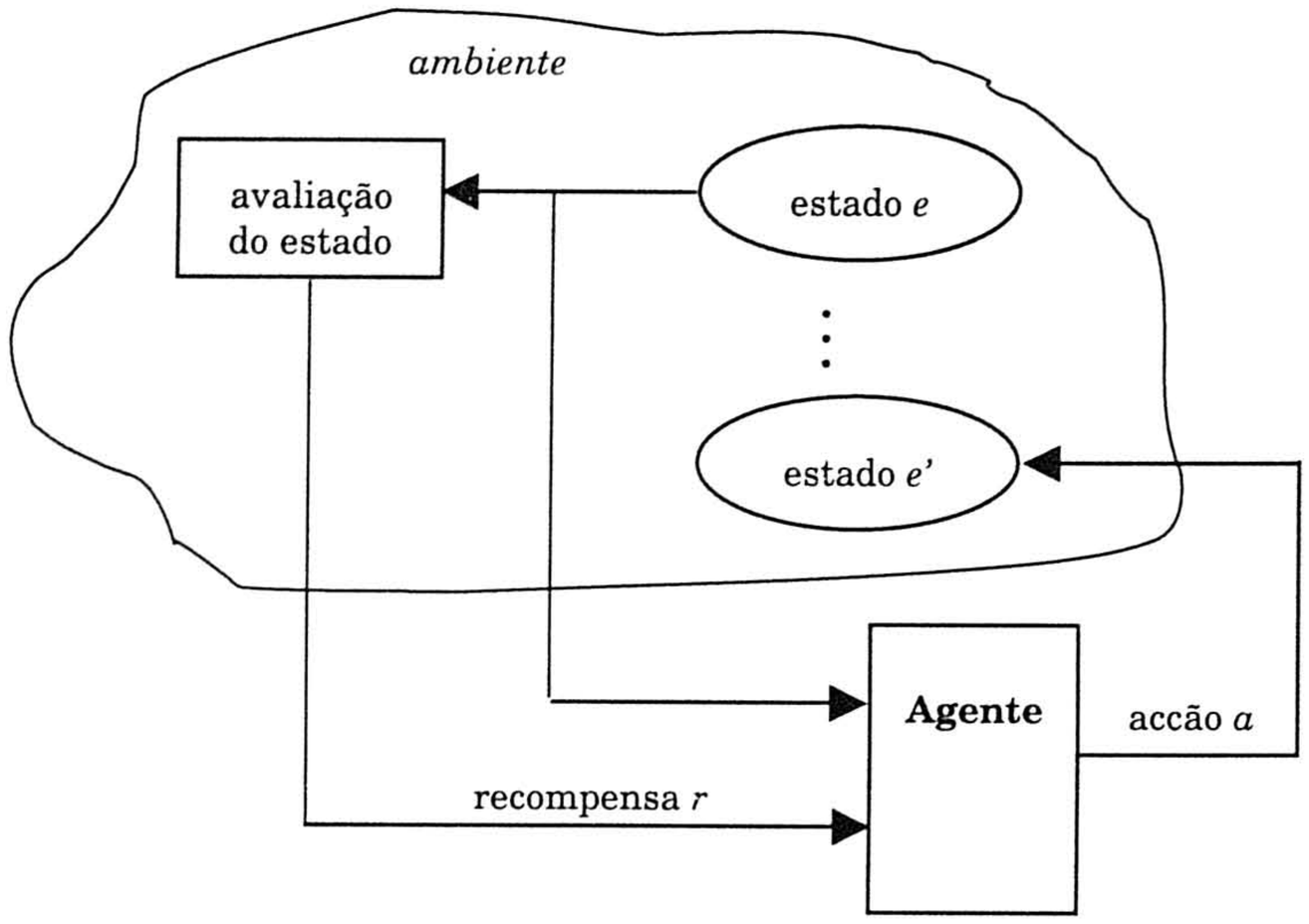


Figura 26. Aprendizagem por reforço

6.2.3. *Aprendizagem não supervisionada*

Neste processo, não existe um "feedback" explícito. O objectivo da aprendizagem é encontrar acções desejadas com base em um processo de tentativa e erro, e organização própria (ver Figura 27). Embora referido como uma das categorias possíveis de aprendizagem em Sistemas Multi-Agente [Weiβ,1996], não é do meu conhecimento qualquer SMA que utilize este paradigma de aprendizagem.

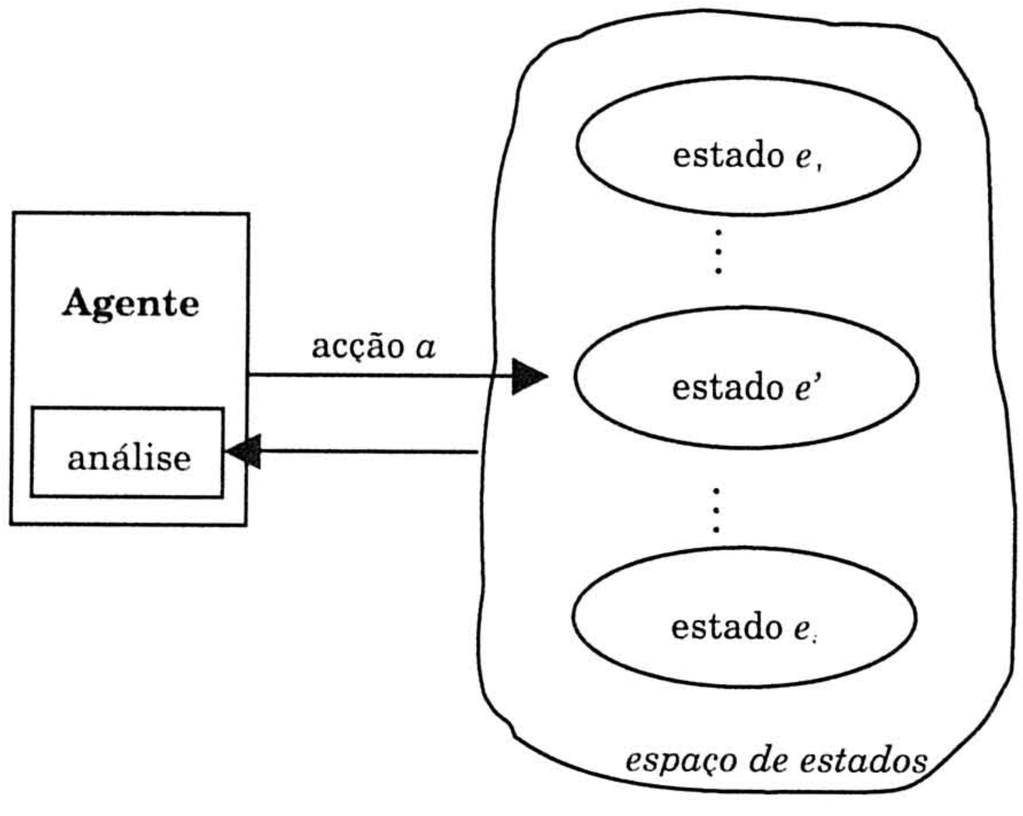


Figura 27. Aprendizagem não supervisionada

6.2.4. *Classificação de alguns sistemas usando aprendizagem na negociação*

Nesta secção são brevemente descritos alguns sistemas existentes que incluem aprendizagem na negociação em sistemas multi-agente, e efectuada uma classificação dos mesmos.

No trabalho apresentado em [Oliveira *et al.*, 1999b], o algoritmo de aprendizagem por reforço (aprendizagem-Q) é adaptada para a negociação, no comércio electrónico, sobre bens descritos por um único atributo. Aqui, agentes compradores em um mercado electrónico negoceiam o preço de um produto com agentes vendedores. No final de cada negociação, o facto de um agente ter vencido ou não esta negociação, é um factor que influencia o cálculo da recompensa que este recebe, e lhe permite aprender a melhorar a sua proposta em negociações futuras. Neste trabalho, são apresentados os resultados de uma simulação onde se verifica que os agentes com capacidade de aprendizagem têm um desempenho superior ao dos seus competidores no mercado (agentes de estratégia fixa).

SMACE [Cardoso e Oliveira, 2000] é um sistema de comércio electrónico, que utiliza aprendizagem por reforço (aprendizagem-Q) para aprender a negociar em um mercado sobre produtos definidos por múltiplos atributo. Contudo, a avaliação de uma proposta que contém múltiplos atributos é traduzida em um único valor que traduz o resultado da função de utilidade do agente, e é sobre este valor que quer a aprendizagem, quer a negociação são realizadas. A aprendizagem incide sobre a selecção da melhor estratégia a utilizar na formação de uma proposta de compra ou venda. Os autores definem estratégia como a combinação ponderada de múltiplas tácticas (negociação heurística). São estes factores de ponderação que são objecto da aprendizagem.

Bazaar [Zeng e Sycara, 1996] é um sistema para negociação bilateral e de múltiplos atributos. A negociação é um processo de decisão sequencial, modelado pela troca de propostas e contra-propostas. Usa probabilidade "Bayesiana" como mecanismo de aprendizagem para actualizar o conhecimento e crença que cada agente possui sobre o ambiente e os outros agentes. Como resultado da aprendizagem, o agente espera obter uma expectativa mais exacta do valor de utilidade ("*payoff*") do oponente, e assim conseguir realizar ofertas mais promissoras. Utilizando como exemplo o cenário de comércio electrónico, se na negociação relativa ao preço de um determinado produto, o agente comprador consegue prever o preço de reserva do vendedor, consegue concerteza realizar ofertas mais vantajosas.

Oliver [Oliver, 1996] usa algoritmos genéticos para aprendizagem em negociação bilateral e de múltiplos atributos. Uma função de avaliação, que consiste em uma soma ponderada dos valores associados a cada um dos atributos, permite converter os valores inscritos em uma oferta em um único valor. É este valor resultado da função de avaliação que é usada no processo de negociação e aprendizagem. Tal como o sistema anterior, a negociação consiste em um processo iterativo de propostas e contra-propostas. Os algoritmos genéticos são utilizados na formação de novas estratégias de negociação a utilizar na próxima ronda de negociação. Neste caso, a estratégia é definida como um conjunto de regras simples que, com base em valores limites específicos, determinam a aceitação ou realização de contra-propostas da primeira, segunda, ..., n-ésima proposta recebida.

A tabela seguinte classifica estes sistemas segundo os dois pontos de vista atrás referidos: emissor da informação de "feedback" e conteúdo da informação de "feedback".

	emissor da informação de feedback	*conteúdo da informação de feedback*
[Cardoso *et al.*, 1999]	Aprendizagem em um Sistema Multi-Agente	Aprendizagem por reforço
[Oliveira *et al.*, 1999b]	Aprendizagem em um Sistema Multi-Agente	Aprendizagem por reforço
[Oliver, 1996]	Sistema de aprendizagem Multi-Agente	Aprendizagem não supervisionada
[Zeng e Sycara, 1996]	Sistema de aprendizagem Multi-Agente	Aprendizagem não supervisionada

Tabela 7. Classificação da aprendizagem em alguns sistemas

6.3. Descrição da aprendizagem por reforço

Dos três tipos de aprendizagem referidos, a aprendizagem por reforço é a que mais se adequa ao cenário que estamos a considerar: negociação da formação de uma Empresa Virtual em um mercado electrónico. Por isso, incluímos nesta secção um estudo mais cuidado deste tipo de aprendizagem.

6.3.1. A tarefa de aprendizagem

A aprendizagem por reforço consiste na aprendizagem de quais acções realizar em determinados estados, de modo a maximizar um valor de recompensa. Durante o processo de aprendizagem não é comunicado ao aprendiz qual a acção a executar. O aprendiz deve, por tentativa de várias acções, descobrir quais as que originam valores de recompensa mais elevados.

O agente conhece um conjunto E de estados (que vai recebendo do ambiente) e possui um conjunto A de acções passíveis de execução. A cada passo de tempo t, o agente encontrando-se no estado e_t escolhe realizar a acção a_t. O ambiente responde a esta acção atribuindo ao agente um valor de recompensa r_t, e alterando o seu estado para um novo estado e_{t+1}.

$$r_t = r(e_t, a_t)$$

$$e_{t+1} = \delta(e_t, a_t)$$

A tarefa da aprendizagem consiste em aprender a política π (modo de comportamento), que maximiza o valor das recompensas recebidas. A política π:E→A é a função que corresponde à selecção de uma acção a_t a executar quando o estado actual do agente é e_t ($\pi(e_t)=a_t$).

Múltiplas políticas podem ser definidas na aprendizagem do agente. A mais usual é a política que maximiza o valor acumulado da recompensa (fórmula 4).

$$V^{\pi}(e_t) = r_t + \gamma \times r_{t+1} + \ldots = \sum_{i=0}^{\infty} \gamma^i \times r_{t+i} \quad , \quad 0 \leq \gamma < 1 \qquad (4)$$

Na fórmula anterior, o parâmetro γ é uma constante que determina o valor relativo de recompensas futuras.

Outras políticas incluem a maximização do valor de recompensa em um número finito de passos (fórmula 5) e a maximização do valor médio da recompensa durante o tempo de vida do agente (fórmula 6).

$$V^{\pi}(e_t) = \sum_{i=0}^{h} r_{t+i} \qquad (5)$$

$$V^{\pi}(e_t) = \lim_{h \to \infty} \frac{1}{h} \times \sum_{i=0}^{\infty} r_{t+i} \quad , h\text{=tempo de vida do agente} \qquad (6)$$

A tarefa de aprendizagem do agente consiste em aprender a política (π^*)que maximiza $V^{\pi}(e)$ para todos os estados $e \in E$.

$$V^*(e) = \max_{\pi} V^{\pi}(e), \quad \forall e \in E$$

Nas fórmulas anteriores, $V^{\pi}(e)$ é denominado **valor do estado *e***, e representa o valor esperado da recompensa que o agente recebe, quando se encontra no estado *e* e segue a política π. Similarmente, pode-se definir o **valor da função estado/acção *(e,a)*** para uma política π, representado por $Q^{\pi}(e,a)$ (Q é a abreviatura de qualidade), como o valor esperado da recompensa que o agente recebe, quando se encontra no estado *e*, executa a acção *a*, e segue a política π.

A tarefa de aprendizagem do agente pode também ser vista como a aprendizagem da política (π^*)que maximiza $Q^{\pi}(e,a)$, para todos os pares estado/acção.

$$Q^*(e,a) = \max_{\pi} Q^{\pi}(e,a), \quad \forall e \in E, \forall a \in A$$

Processo de Decisão Markov

Em um processo de decisão Markov (PDM) as funções de determinação da recompensa e selecção de uma acção, $r(e_t,a_t)$ e $\delta(e_t,a_t)$ respectivamente, dependem apenas dos estados e acção actuais. Se o conhecimento de acções ou estados anteriores afectam a escolha da acção em um determinado instante *t*, então o processo de decisão não é PDM.

Se o ambiente é "markoviano", é possível prever o próximo estado e o valor esperado da próxima recompensa, conhecidos apenas o estado e acção actuais. Por iteração, é assim possível prever os estados e os valores das recompensas futuros, por conhecimento apenas do estado actual, tão bem como seria possível se fosse conhecida a história completa até ao instante actual.

Apesar de grande parte da teoria relativa à aprendizagem por reforço estar restrita a processos de decisão Markov, as ideias presentes neste tipo de aprendizagem podem ser aplicadas de forma geral a outros processos.

6.3.2. Algoritmos de Aprendizagem por Reforço

A aprendizagem por reforço inclui três grandes classes de algoritmos: *programação dinâmica*, *métodos Monte Carlo* e *diferença temporal* [Sutton e Barto, 1998]. As secções seguintes descrevem sucintamente cada uma destas classes, e apresentam uma análise comparativa entre elas.

6.3.2.1. Programação Dinâmica

A programação dinâmica abrange um conjunto de algoritmos que podem ser usados na determinação de uma política óptima, sendo conhecido um modelo perfeito do ambiente, isto é, o agente conhece as funções $r(e_t,a_t)$ e $\delta(e_t,a_t)$. Assume-se que o processo de decisão é Markov.

A programação dinâmica (PD) realiza uma computação iterativa, estimando o valor de um estado ($V(e)$) com base nos valores estimados de todos os estados sucessores e respectiva probabilidade de ocorrência. Formalmente, a convergência do algoritmo para a determinação dos valores $V^*(e)$ requer um número infinito de iterações. Na prática, e sem prejuízo da convergência, o algoritmo termina quando a actualização do valor de qualquer estado não regista alteração significativa (isto é, é inferior a um valor θ muito pequeno).

Dois pontos importantes limitam a utilidade do uso de programação dinâmica na aprendizagem por reforço:

- É necessário conhecer um modelo preciso do ambiente
- O custo computacional é elevado

  O tempo computacional para encontrar a política óptima é polinomial relativamente ao número de estados e acções. Em problemas com um espaço de estados muito elevado, a programação dinâmica assíncrona é geralmente preferível. Os métodos assíncronos são métodos iterativos que actualizam os estados em uma ordem arbitrária. E em alguns problemas, apenas relativamente poucos estados ocorrem em trajectórias de solução óptimas. Contudo, na programação dinâmica assíncrona, o número de iterações necessário para garantir a convergência do algoritmo continua a ser demasiado elevado.

6.3.2.2. Métodos Monte Carlo

Os métodos Monte Carlo, contrariamente à programação dinâmica, não assumem o conhecimento perfeito do ambiente, e não possuem qualquer modelo deste.

No caso da PD, e porque existe um modelo do ambiente, o conhecimento dos valores dos estados é suficiente para determinar a política correspondente. Quando o agente se encontra em um estado e_t, de todas as acções possíveis de executar nesse estado, selecciona-se a que conduz à melhor combinação dos valores de recompensa ($r(e_t,a_t)$) e próximo estado (e_{t+1}).

Se não existe um modelo do ambiente, é necessário realizar não a estimativa dos valores dos estados (como no caso da PD), mas sim a estimativa dos valores das funções estado/acção ($Q(e,a)$). Os métodos Monte Carlos realizam assim estimativas dos valores da função $Q(e,a)$.

Os métodos Monte Carlo apenas realizam aprendizagem em tarefas com episódios. As experiências são divididas em episódios, e apenas no final de cada episódio, os valores da função estado/acção são estimados.

Estes métodos baseiam-se na experiência para realização da aprendizagem. Os episódios são repetidos um elevado número de vezes, sendo no final de cada um desses episódios actualizada a estimativa dos valores $Q(e,a)$ relativos aos pares estado/acção corridos nesse episódio. O cálculo dos valores $Q(e,a)$ é simplesmente a média dos valores de recompensa que resultam de inúmeras ocorrências dos pares estado/acção (e,a) . Para garantir a convergência do algoritmo para os valores óptimos, é necessário assegurar que todas as acções possíveis de executar em um determinado estado são executadas, e que todos os pares estado/acção são visitados um número elevado de vezes.

As diferenças entre os métodos de Monte Carlo e a programação dinâmica referida na secção anterior, são sumariadas nos dois pontos seguintes:

- Métodos Monte Carlo aprendem por experiência, podem ser usados em aprendizagem directa, sem necessidade de conhecer o modelo do ambiente.
- Métodos Monte Carlo não calculam estimativas de valores de estados com base em estimativas de valores de outros estados, como acontece na programação dinâmica.

6.3.2.3. Diferença Temporal

A aprendizagem por diferença temporal (DT) é uma combinação dos métodos Monte Carlo e programação dinâmica. Tal como os métodos Monte Carlo, os métodos DT aprendem directamente por experiência sem possuir qualquer modelo do ambiente. Tal como a programação dinâmica, os métodos DT actualizam as estimativas dos valores dos estados (ou funções estado/acção) com base em outras estimativas aprendidas anteriormente, sem esperar por um resultado final.

A aprendizagem por diferença temporal consiste em aprender pela redução das discrepâncias entre estimativas realizadas pelo agente em instantes de tempo diferentes. Durante uma experiência, e em cada instante de tempo, o valor da função $Q(e,a)$, para todos os pares estado/acção visitados, é actualizado com base no valor de recompensa recebido, e em uma combinação pesada das estimativas de valores de funções $Q(e',a')$ relativas a estados

futuros. A convergência do algoritmo é garantida pela repetição de um número elevado de experiências, sendo necessário assegurar que todos os pares estado/acção são visitados várias vezes.

Os algoritmos DT, são geralmente identificados por DT(λ), em que λ se refere ao número de instantes de tempo usados na estimativa do valor da função *Q(e,a)*. Os algoritmos DT(0) são os mais usuais, porque o grau de complexidade exigido é bastante inferior, e o comportamento idêntico aos outros algoritmos DT(λ), com λ≠0. O algoritmo DT(0) utiliza, para estimar o valor da função *Q(e,a),* apenas o instante de tempo seguinte, isto é, a estimativa dos valores das funções *Q(e',a'),* onde *e'* representa o estado resultante da execução da acção *a* no estado *e*.

Na aprendizagem DT, e também nos métodos Monte Carlo, é possível dividir os algoritmos de aprendizagem em duas grandes sub-classes, denominadas *"on-policy"* e *"off-policy"*. Os algoritmos *"on-policy"* calculam a estimativa dos valores relativos a uma política π, quando tal política está a ser usada na experiência (por exemplo, algoritmo Sarsa na aprendizagem DT). Nos algoritmos *"off-policy"* são identificadas duas políticas: a política de comportamento e a política da estimativa. A política de comportamento é a política seguida na geração do comportamento do agente durante a experiência. A política de estimativa é a política que está efectivamente a ser avaliada e actualizada pelo algoritmo. Um exemplo de aprendizagem de diferença temporal *"off-policy"* é o algoritmo de Aprendizagem-Q, que foi usado no nosso trabalho, e por essa razão, é descrito com um maior detalhe na secção 6.4.1.

As características essenciais da aprendizagem por diferença temporal (DT) são enumeradas nos pontos seguintes:

- Não requer um modelo do ambiente (vantagem sobre a programação dinâmica).
- A aprendizagem é realizada durante a experiência, passo a passo. Não é necessário esperar pelo resultado final de um episódio para actualizar os valores das funções *Q(e,a)* (vantagem sobre os métodos Monte Carlo).

6.3.3. Exploração e Observação

Uma das diferenças mais importantes entre a aprendizagem por reforço e a aprendizagem supervisionada é o modo de exploração do ambiente. Enquanto na primeira o agente tem de explicitamente explorar o ambiente, na aprendizagem supervisionada é o supervisor que indica quais os estados possíveis do ambiente, através dos exemplos apresentados.

Na aprendizagem por reforço, quando da escolha da melhor acção a executar, o agente depara-se com um dilema. Deve escolher a acção mais promissora, de acordo com os estados já explorados? Ou deve tentar explorar novos estados, que possam eventualmente conduzir a melhores soluções? Em ambientes dinâmicos, como é o caso de um mercado electrónico, a exploração não deve ser descurada, por forma a que seja possível captar as alterações no ambiente. Na selecção de um compromisso entre a exploração e a observação, o agente pode

basear o seu comportamento em três estratégias diferentes [Kaelbling *et al.*, 1996]: ambicioso, aleatório, baseado em intervalos. Estas estratégias são descritas nas secções seguintes.

6.3.3.1. Estratégia ambiciosa

Uma heurística possível é a selecção da acção que possui o valor esperado de recompensa mais elevado. A possível desvantagem é que acções anteriores mal escolhidas podem indicar que a recompensa associada à melhor acção é menor que a recompensa obtida de uma acção sub-óptima. A acção sub-óptima será sempre seleccionada, deixando a acção verdadeiramente óptima de lado. Para corrigir situações deste género, o agente deve tentar explorar o ambiente.

6.3.3.2. Estratégia aleatória

Se não é realizada qualquer exploração, o agente usa uma estratégia ambiciosa seleccionando a acção que lhe parece a melhor, mas não consegue aperceber-se da dinâmica do ambiente. Se é realizada demasiada exploração, o agente corre o risco de efectuar demasiadas escolhas fracas. É necessário assegurar que é realizada a exploração suficiente, enquanto, em paralelo, não é esquecida a observação, sendo também seleccionadas as acções mais promissoras.

Uma alternativa ao comportamento anterior é assumir um comportamento ambicioso a maior parte do tempo mas, de vez em quando, com uma pequena probabilidade ε, seleccionar uma acção aleatoriamente. Esta selecção é realizada de acordo com uma distribuição uniforme, e independentemente dos valores estimados das acções. No limite, e enquanto o número de iterações vai aumentando, cada acção será seleccionada um número infinito de vezes, garantindo a convergência dos valores estimados das acções para os seus valores reais. Um problema associado a esta estratégia é que a exploração é realizada por escolha de uma nova acção entre várias igualmente seleccionáveis. É tão provável que seja escolhida a pior acção como a melhor acção do conjunto das não exploradas. Tal facto pode originar uma perda de tempo não suportável na selecção de acções que são muito más.

Uma outra alternativa é considerar a probabilidade de selecção de uma nova acção (exploração) como função do valor estimado da acção. A melhor acção possui ainda a probabilidade mais elevada de ser seleccionada, mas todas as outras são também candidatas, embora ordenadas e ponderadas segundo os seus valores estimados. Esta estratégia de selecção da próxima acção a realizar é denominada *Softmax*, e uma das distribuições mais usuais no cálculo do valor da probabilidade de selecção é a distribuição de *Boltzmann* [Kaelbling *et al.*, 1996]:

$$p(a) = \frac{e^{Q(e,a)/t}}{\sum_{b \in A} e^{Q(e,b)/t}} \quad , \quad t > 0 \qquad (7)$$

Na fórmula (7), *p(a)* é a probabilidade de ser seleccionada a acção *a* como próxima acção a ser realizada a partir do estado *e*. O parâmetro t (temperatura) controla a quantidade de exploração que é realizada, sofrendo geralmente um decréscimo ao longo do tempo conduzindo a níveis de exploração gradualmente mais baixos. Quando é usado um valor de temperatura elevado, todas as acções são seleccionadas com a mesma probabilidade (estamos na primeira alternativa). Quando é usado um valor de temperatura mais baixo, é mais elevada a probabilidade de seleccionar acções de maior valor estimado (com maior valor de Q).

6.3.3.3. Estratégia baseada em intervalos

Neste caso referido em [Kaelbling *et al.*, 1996], a exploração é baseada na variação estimada de valores de acções. Assim, a cada acção, são associados dois valores estatísticos:

- ω - número de sucessos
- *n* – número de tentativas

Para cada acção é calculado o limite superior de um intervalo de confiança a 100*(1-α)% na probabilidade de sucesso dessa acção. A acção a realizar é seleccionada como sendo a acção que possui o valor mais elevado para o limite superior deste intervalo de confiança. Valores inferiores para o parâmetro α originam um maior nível de exploração (o parâmetro α representa o grau de significância associado ao intervalo de confiança calculado).

6.4. Aprendizagem na formulação da proposta a negociar

Antes de descrever como a aprendizagem é usada no nosso sistema, recorda-se aqui o processo de negociação referido no capítulo anterior. A negociação ocorre quando um *agente mercado* pretende seleccionar um *agente empresa* para produção de determinado componente, e consequente pertença à Empresa Virtual.

Quando o agente mercado recebe as propostas dos vários agentes empresa, realiza uma crítica sobre estas e envia tal *comentário* aos agentes empresa respectivos. Os agentes empresa, com base nesse comentário, irão realizar novas propostas com o ***intento*** de vencer a negociação, e considerando os ***desejos***[10]: satisfação das preferências do agente mercado indirectamente reveladas no seu comentário, sobreposição aos outros agentes empresa (competidores), e maximização da sua utilidade própria.

É exactamente neste processo de formulação de uma nova proposta, que é usada a capacidade de aprendizagem. O objectivo da aprendizagem, neste passo, é o agente empresa aprender como satisfazer o seu intento.

---

[10] O intento e o desejo representam "estados mentais" do agente.

O algoritmo adoptado é uma versão da aprendizagem-Q, e como tal chamado de Negociação-Q, usando uma estratégia aleatória com base na distribuição de Boltzmann. A selecção deste tipo de aprendizagem é fundamentada por duas razões:

- O algoritmo Negociação-Q (baseado na aprendizagem-Q) possibilita a aprendizagem durante o processo de negociação, isto é, o agente não aprende apenas no final da negociação quando é declarado vencedor ou não, mas sim enquanto decorre o próprio processo de negociação, ronda a ronda.
- A aprendizagem-Q (e logo a Negociação-Q) permite ainda realizar a exploração do ambiente, para além da observação. A hipótese de explorar novos estados, e não apenas seleccionar uma acção promissora de entre um conjunto de estados já explorados, é um aspecto essencial em um mercado electrónico. Aqui, o ambiente é dinâmico, e assim pode acontecer que, durante a negociação, o que é considerado um bom estado neste instante não tenha sido ainda explorado.

6.4.1. Aprendizagem-Q

A aprendizagem-Q é um algoritmo de aprendizagem por reforço, e é um caso especial da classe de algoritmos de aprendizagem por diferença temporal. A aprendizagem-Q [Watkins e Dayan, 1992] atribui valores de avaliação a pares estado/acção.

Quando um agente se encontra no estado e, executa a acção a, recebe a recompensa r, e atinge o estado e', (por execução da acção a no estado e), o valor-Q correspondente é actualizado de acordo com a seguinte fórmula:

$$Q(e,a) = Q(e,a) + \alpha\left(r + \gamma \max_b Q(e',b) - Q(e,a) \right), \quad onde$$
$$0 \le \alpha \le 1, \quad e \qquad (8)$$
$$0 \le \gamma \le 1$$

Na fórmula (8), o parâmetro b representa o conjunto de acções admissíveis quando o sistema se encontra no estado e'. O parâmetro α representa a taxa de aprendizagem, e o parâmetro γ o factor de desconto. O factor de desconto é utilizado para fazer decrescer o peso de valores de reforços a receber no futuro. A inclusão deste parâmetro implica que reforços imediatos tenham uma maior importância que reforços futuros.

O funcionamento deste algoritmo de aprendizagem torna-se mais compreensível pela leitura da figura seguinte (Figura 28):

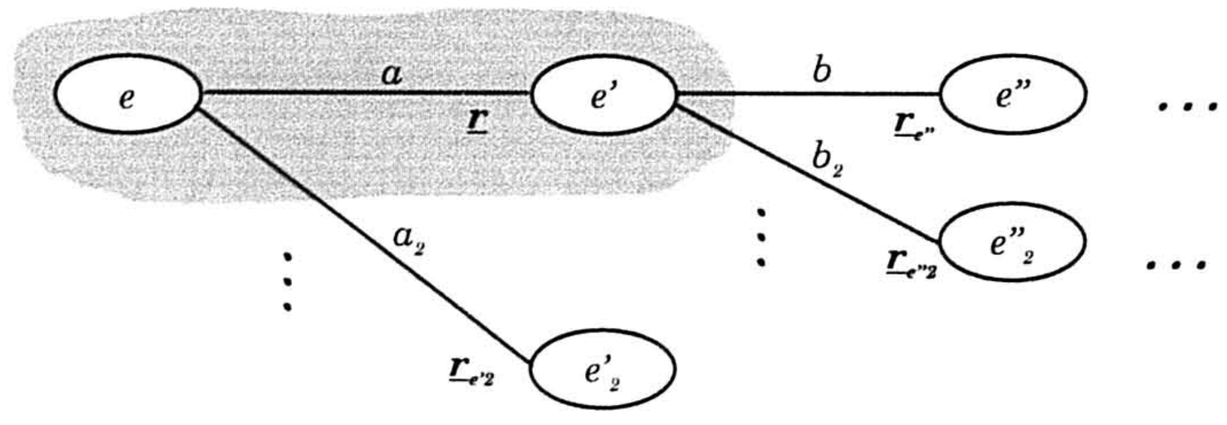


Figura 28. Aprendizagem-Q

O valor-Q associado a um par estado/acção é a estimativa da soma de todos as recompensas que serão recebidas quando é executada essa acção, quer no imediato quer a seguir, retomando o mesmo processo. A actualização do valor-Q associado ao par estado *e*/acção *a* (*Q(e,a)*), implica

- A realização da acção *a* quando se encontra no estado *e*, causando a transição para o estado *e'*, e a obtenção de um valor de recompensa *r*.
- O cálculo do máximo valor-Q no novo estado *e'*. Não é requerido o cálculo dos valores associados a todos os possíveis sucessores deste estado *e'*. A razão é que uma amostra dos estados sucessores é usada como uma estimativa imparcial do valor esperado desse estado. Após múltiplas actualizações, o valor-Q associado a uma acção particular, irá convergir para a soma de todas as recompensas recebidas quando essa acção é realizada, e é seguida a política óptima nas iterações seguintes.

O algoritmo de aprendizagem-Q possui uma propriedade muito importante que foi nomeada no parágrafo anterior. O algoritmo converge para os seus valores óptimos, independentemente de como o agente se comporta, desde que todos os pares estado/acção sejam tentados várias vezes. Tal conclusão significa que, embora o dilema exploração versus observação tenha de ser tratado, os detalhes da estratégia de exploração não afectam (excepto no respeitante ao tempo necessário) a convergência do algoritmo de aprendizagem. Tudo o que é requerido para assegurar a convergência, é que todos os pares estado/acção sejam actualizados repetidamente.

6.4.2. Formulação de uma proposta

A Negociação-Q, por nós proposta, usa a estratégia de aprendizagem-Q para a formulação de propostas durante a negociação em um sistema multi-agente.

Após cada ronda de negociação, o agente mercado comenta as propostas enviadas pelos agentes empresa, através da seguinte mensagem (conforme descrito no capítulo anterior):

comentario (Pr, Classifs)

- *Pr* é o identificador da proposta.
- *Classifs* é uma lista das classificações dos valores propostos nos diferentes atributos. Cada elemento desta lista contém a informação: $<Atb_i , Classif_i, D_i>$
  - Atb_i é o identificador do atributo i,
  - $Classif_i$ é a classificação do valor proposto: $Classif_i \in \{suficiente, mau , medíocre\}$
  - D_i é a direcção do desvio do valor proposto: $D_i \in \{elevado, reduzido, ok\}$

O agente empresa formula uma nova proposta em resposta a este comentário, usando o algoritmo da Negociação-Q (baseado na aprendizagem-Q), com exploração Boltzmann modificada, como se descreve a seguir.

Estado e Acção

Um ***estado*** (e) é definido por uma estrutura de k elementos, sendo k o número de atributos que compõem o componente em negociação.

$e = \langle Classif_1, \ldots, Classif_k \rangle$, $Classif_i$ *é a classificação do valor do atributo i*

Uma ***acção*** (a) é definida por uma estrutura de k elementos, sendo k o número de atributos que compõem o componente em negociação.

$a = \langle A_1 , A_2 , \ldots , A_k \rangle$, $A_i \in \{incremento , decremento , manutenção\}$

As acções possíveis a realizar (no final da ronda de negociação t) sobre o valor de um atributo i são as seguintes:

- Incremento do valor do atributo i de um montante pré-definido (de acordo com a classificação obtida no comentário do agente mercado):

  $V_i^{t+1} = inc\left(V_i^t , \Delta_{i_n}\right)$, $n \in \{mau , medíocre\}$

  V_i^t representa o valor do atributo i no instante t.
- Decremento do valor do atributo i de um montante pré-definido:

  $V_i^{t+1} = dec\left(V_i^t , \Delta_{i_n}\right)$, $n \in \{mau , medíocre\}$
- Manutenção do valor do atributo i:

  $V_i^{t+1} = V_i^t$

O incremento (decremento) do valor de um atributo contínuo é equivalente a somar (subtrair) o montante pré-definido. O incremento (decremento) do valor de um atributo discreto é equivalente a um movimento para uma posição seguinte (anterior) do domínio correspondente.

Determinação do valor recompensa

Quando o agente empresa recebe o comentário do agente mercado relativo à proposta enviada na ronda de negociação anterior, calcula o valor de recompensa dessa proposta, de acordo com a seguinte fórmula:

$$r = \begin{cases} k & , se\ vencedor \\ \frac{k}{2} - \sum_i penalidade_i & , se\ não\ vencedor \end{cases} \qquad (0 \leq penalidade_i \leq 1) \qquad (9)$$

Na fórmula anterior (fórmula (9)), convém referir os seguintes pontos:

- O parâmetro *penalidade* é um valor pré-definido por este agente empresa, e é dependente da classificação obtida no comentário enviado pelo agente mercado. Este parâmetro diminui o valor da recompensa para propostas que obtiveram uma classificação fraca, e é tanto maior quanto menos favorável for a classificação obtida:

$$Classificação = suficiente \Rightarrow penalidade = p_{suf}$$

$$Classificação = mau \Rightarrow penalidade = p_{mau}$$

$$Classificação = medíocre \Rightarrow penalidade = p_{med}$$

$$, e, \quad 1 \geq p_{med} > p_{mau} > p_{suf} \geq 0$$

Selecção do melhor estado e formulação da proposta

Após o cálculo do valor de recompensa para o estado actual *e'* (estado resultante da proposta enviada na ronda de negociação anterior), o agente empresa selecciona a próxima acção de acordo com o algoritmo de Negociação-Q do seguinte modo:

1. Actualiza o valor do estado actual *e'* de acordo com a fórmula (8).

   Note-se que, *e'* é o resultado da execução da acção *a* em um estado anterior *e* (ver Figura 28).
2. Deriva as **novas** e **promissoras** acções *b*, de acordo com o comentário recebido do agente mercado.

   Quer isto dizer que, se, por exemplo, o comentário classifica o atributo *i=2* como *mau*, uma acção promissora é aumentar ou diminuir esse atributo (de $\Delta_{2_{mau}}$) e manter os restantes.

   Neste passo do algoritmo, é realizada uma ligeira adaptação ao algoritmo standard de aprendizagem-Q, por consideração não do espaço de exploração na sua totalidade, mas apenas do subconjunto que, de acordo com o comentário recebido, é passível de ser considerado como contendo uma boa solução.

   Os estados resultantes são guardados com o valor Q definido por defeito (Q_{def}):

$$Q(e',b)=Q_{def}, \qquad \forall b: b \text{ é uma acção promissora}$$

3. Selecciona a acção a^* com o maior valor de probabilidade de acordo com a fórmula de exploração de Boltzmann (fórmula (7)). Recorda-se que o espaço de acções a considerar nesta fórmula (espaço A), inclui as já observadas anteriormente (espaço de observação) e as por explorar que são consideradas promissoras (espaço de exploração).
4. Executa a acção a^* sobre a proposta enviada na ronda anterior, obtendo-se uma nova proposta.

A nova proposta é agora enviada ao agente mercado.

proposta (AgE, Pr, Cmpt, Vals)*(Vals ≡ valores dos atributos da nova proposta)*

Este algoritmo de negociação incluindo aprendizagem, permite ao agente empresa alterar as suas *crenças* sobre como o agente mercado avalia as suas propostas. Esta avaliação está escondida no comentário recebido, e é traduzida por este agente empresa primeiro em um valor de recompensa, e depois actualizando um valor Q. A dedução de qual a avaliação que o agente mercado vai atribuindo às suas diferentes propostas, permite ao agente considerado aprender como melhorar o seu comportamento. Claro que o agente, ao mesmo tempo que tenta agradar (porque quer vencer a negociação), procura também satisfazer a sua utilidade própria.

6.5. Conceito de Dependência Distribuída

Um outro aspecto que merece consideração neste capítulo, além da aprendizagem, é o problema de resolução de dependências distribuídas, pois no processo de formação da Empresa Virtual ocorrem negociações interdependentes. Os componentes a disponibilizar para a Empresa Virtual, que serão fornecidos por diferentes empresas, podem conter dependências entre eles, o que se traduz em um problema de satisfação de dependências distribuídas.

Um problema de satisfação de dependências é definido por [Yokoo *et al.*, 1992]:

- Um conjunto de n variáveis (x_1, x_2, ..., x_n), que podem, respectivamente, assumir valores nos domínios D_1, D_2, ..., D_n.
- Um conjunto de dependências sobre os seus valores. Uma dependência k é representada por um predicado $P_k(x_{k1}, x_{k2}, ..., x_{kj})$, que consiste em relações sobre subconjuntos do espaço Cartesiano definido por $D_{k1} \times D_{k2} \times ... \times D_{kj}$.

Na literatura, este problema é muitas vezes designado como um *problema de satisfação de restrições*. Realmente, existe um conjunto de restrições a ser efectuado. Contudo, e porque essas restrições estão definidas por dependências entre variáveis (tal como referido no segundo

item da definição acima), passaremos a denominar este problema de *problema de satisfação de dependências* (PSD) [Sen *et al.*, 2000].

A resolução de um PSD equivale a realizar a atribuição de valores a todas as variáveis, de modo que todas as dependências (ou restrições) sejam satisfeitas.

Um *problema de satisfação de dependências distribuído* (PSDD), mantém a definição referida para o PSD, mas neste caso as variáveis encontram-se distribuídas por diferentes agentes ou aplicações de um sistema. Cada agente tem como tarefa a atribuição de valores às suas variáveis, de modo a satisfazer todas as dependências existentes. Estas dependências podem existir entre variáveis do próprio agente, ou entre variáveis de diferentes agentes.

As secções seguintes apresentam alguns algoritmos de resolução de PSDD, procurando-se enumerar as suas características e problemas, justificando a sua não aplicabilidade no presente trabalho. De seguida (secção 6.6) é apresentado o algoritmo por nós proposto para a resolução das dependências distribuídas entre as negociações simultâneas que ocorrem no processo de formação da Empresa Virtual.

6.5.1. Retrocesso centralizado

O algoritmo de retrocesso é a aproximação standard de resolução de problemas de satisfação de dependências distribuídas.

No algoritmo de retrocesso centralizado [Yokoo *et al.*, 1992], é seleccionado um agente orientador, de entre todos os agentes do sistema. Quaisquer informações relativas a variáveis, domínios de valores, e dependências são enviadas para o agente orientador. O agente orientador então, em posse de toda a informação, resolve o problema da satisfação de dependências sozinho como se se tratasse de um problema não distribuído, usando os algoritmos de retrocesso standard. Esta aproximação é obviamente ineficaz: existe um *grande volume de comunicação* (para selecção do orientador, e envio de toda a informação para este), e *perda de paralelismo* (o agente orientador trabalha sozinho enquanto os outros estão à espera de obter a solução).

6.5.2. Retrocesso síncrono

No algoritmo de retrocesso síncrono [Yokoo *et al.*, 1992], os agentes do sistema concordam no estabelecimento de uma ordem de prioridade para as suas variáveis. Cada agente recebe uma solução parcial do agente de ordem imediatamente mais baixa. Com esta informação, e baseado na informação que tem sobre as dependências da sua variável, atribui valores a esta. Se consegue realizar tal atribuição, junta essa solução à solução parcial que recebeu, e envia-a ao agente de ordem imediatamente superior[11]. Se este agente não consegue atribuir qualquer

[11] Agentes de ordem superior são os agentes que conhecem os valores admissíveis das variáveis de prioridade superior.

valor à sua variável, envia uma mensagem de retrocesso ao agente anterior (emissor da solução parcial). Este tenta alterar a sua própria atribuição de valores. Se conseguir, envia nova solução parcial ao agente de quem recebeu a proposta de valor da variável. Senão, informa o agente de ordem imediatamente inferior à dele. E o processo repete-se até uma solução ser encontrada pelo agente conhecedor do domínio das variáveis de ordem mais elevada do sistema, ou não ser possível encontrar uma solução.

Este algoritmo resolve o problema de excesso de comunicação observado no algoritmo de retrocesso centralizado, mas mantém o problema de *não aproveitamento de paralelismo*.

6.5.3. Retrocesso assíncrono

O algoritmo de retrocesso assíncrono é uma modificação ao algoritmo standard de retrocesso, realizado por Yokoo *et al.* [Yokoo *et al.*, 1992], de modo a permitir aos agentes agir concorrentemente e sequencialmente. Neste algoritmo, cada agente atribui um valor à sua variável, e envia essa informação aos agentes relevantes (agentes que possuem variáveis dependentes desta).

A ideia básica do retrocesso assíncrono é distribuir o local de pesquisa e permitir aos agentes trabalhar concorrentemente nos seus problemas locais. Esta situação aproveita o paralelismo ao permitir a cada agente encontrar soluções e descobrir valores não viáveis (*"no-goods"*) em simultâneo. No algoritmo de retrocesso assíncrono, os agentes são relacionados por uma ordem fixa, e comunicam periodicamente para sincronização da informação relativa à verificação de satisfação de dependências. A verificação de cada uma das dependências é realizada pelo agente de menor prioridade de entre o conjunto de agentes envolvidos na dependência.

Cada agente atribui um valor à sua variável, e passa esse valor para os agentes que são afectados (restritos) por essa variável. Um agente, ao receber valores de agentes de prioridade mais elevada, verifica se a sua própria escolha é compatível. Se o valor que possui para a sua variável não for compatível com a informação recebida, o agente tenta obter um novo valor: se encontra um novo valor possível, passa esta alteração para os agentes dependentes; senão, anuncia aos seus superiores que a sua solução não é possível (*"no-good"*).

Se um qualquer agente recebe um mensagem de solução não possível (*"no-good"*), guarda esta informação como uma nova dependência, e ordena aos outros agentes de prioridade superior envolvidos para manter o agente encarregue de processar essa nova dependência informado de quaisquer alterações nas suas variáveis. Este agente, então, tenta encontrar um novo valor para a sua variável.

O algoritmo termina com sucesso quando o agente de prioridade mais baixa encontra um valor consistente com todos os agentes de prioridade superior; ou com insucesso quando um agente descobre que possui um domínio (alterado pela inclusão de novas dependências) vazio.

Um problema deste algoritmo é que se um agente de prioridade elevada realizar uma má selecção do valor da sua variável, pode acontecer que a descoberta de que se trata de uma solução não possível, e consequente redefinição de valores para as variáveis do sistema, seja um processo muito demorado.

6.5.4. *Pesquisa assíncrona de compromisso fraco*

O algoritmo de pesquisa assíncrona de compromisso fraco [Yokoo e Hirayama, 1998], é similar ao retrocesso assíncrono, mas aqui a ordem dos agentes é alterado quando é encontrada uma solução não possível. A ordenação dos agentes é alterada de forma a que o agente que descobriu a existência de uma solução não possível passe a ter a prioridade mais elevada. A ordenação dos agentes é dinâmica e, tal como é realizada, permite que *escolhas más efectuadas por agentes de prioridade elevada sejam descobertas mais rapidamente*.

Ambas as aproximações (retrocesso assíncrono e pesquisa assíncrona de compromisso fraco) têm como desvantagem principal o facto de o *espaço de armazenamento de soluções não possíveis ("no-goods") crescer exponencialmente*.

6.5.5. *Prioridade dinâmica*

No algoritmo de prioridade dinâmica [Armstrong e Durfee, 1997], ao contrário dos anteriores[12], os agentes possuem múltiplas variáveis.

Neste algoritmo, cada agente tenta obter uma solução local (atribuição de valores a todas as suas variáveis) que seja consistente com as soluções locais dos agentes de maior prioridade. Se não for possível obter uma solução local, é realizado o retrocesso ou é alterada a ordenação dos agentes. Existe um *processador* de "soluções não possíveis", que pode ser centralizado ou distribuído.

Quando um agente não consegue atribuir qualquer valor à sua variável, foi descoberta uma "solução não possível". Os valores das variáveis causadoras desta solução não possível, são enviados para o *processador*, e este agente informa o agente de prioridade imediatamente superior para tentar encontrar novos valores a atribuir às suas variáveis. Quando um agente encontra um valor possível para atribuir à sua variável, consulta o *processador* para garantir que tal atribuição em conjunto com outras de agentes de prioridade superior não constituem um "solução não possível".

A solução final é encontrada quando o agente de prioridade mais baixa consegue atribuir valores às suas variáveis.

A inclusão de um processador de "soluções não possíveis" *reduz os custos de armazenamento* (existe apenas um local com informação relativa a soluções não possíveis).

---

[12] Apesar de, teoricamente, nada obstar a que, nos algoritmos anteriores, sejam atribuídas múltiplas variáveis a um agente, tais algoritmos revelam-se pouco eficientes nesses casos.

Uma desvantagem deste algoritmo é que, se um agente de ordenação elevada obtém uma solução local má (isto é, uma solução que não pertence à solução final global), os agentes de ordem inferior são obrigados a realizar uma *pesquisa exaustiva do seu problema local de forma a alterar a má decisão* tomada pelo agente de ordem superior.

6.5.6. Pesquisa assíncrona de compromisso fraco (multi)

O algoritmo de pesquisa assíncrona de compromisso fraco é modificado para o caso de um agente possuir múltiplas variáveis em [Yokoo e Hirayama, 1998].

O agente realiza a computação de cada uma das suas variáveis locais sequencialmente, e comunica essa informação aos outros agentes apenas quando encontra uma solução local que satisfaz todas as dependências. O processo a executar é o seguinte:

O agente altera o valor da sua variável de maior ordem (x_k), que está a violar as dependências impostas por variáveis de ordem superior, de forma a que estas dependências sejam satisfeitas. Se não existir nenhum valor que satisfaça esta condição, então o agente aumenta a ordem da variável x_k. Quando todas as variáveis locais satisfazem as dependências de variáveis de ordem superior, o agente envia as alterações aos agentes relacionados.

Com este algoritmo, se a solução local obtida por um agente de ordem elevada for má, um *agente de ordem inferior não necessita de realizar uma pesquisa local exaustiva* para encontrar uma solução. Simplesmente, aumenta os valores de prioridade de determinadas variáveis locais que violam as dependências com a má solução local.

6.5.7. Restrições baseadas no Mercado

Os algoritmos anteriores não distinguem entre soluções melhores e soluções piores: todas as soluções possíveis possuem a mesma utilidade para os agentes. Estes algoritmos também requerem um conhecimento prévio, por todos os agentes, das dependências existentes. O algoritmo MarCon [Parunak *et al.*, 1999] resolve ambos os problemas.

As variáveis e as dependências do problema são representadas por agentes distintos. Um *agente restrição* está interessado na atribuição de valores àquelas variáveis às quais se encontra ligado. Os agentes restrição negoceiam a atribuição de valores a essas variáveis. Uma dependência é representada por uma função de um subconjunto de variáveis a um valor utilidade. O agente restrição tenta, obviamente, maximizar a sua utilidade (estimada como a diferença entre o que recebe pelas variáveis que vende e o que paga pelas variáveis que compra).

O agente restrição realiza ofertas de compra ou venda de variáveis, para os agentes variáveis em que está interessado. Essa oferta indica o preço que está disposto a oferecer para os valores que aceita para a variável em questão.

O *agente variável* mantém um mercado para a atribuição dessa variável. Compara as ofertas recebidas dos agentes restrição, e recomenda a esses agentes os valores a atribuir à variável em questão que conduz a uma solução que maximiza o benefício de todos. Se não for possível encontrar este valor (porque as funções não se intersectam), o agente variável recomenda uma negociação directa entre os agentes restrição.

Neste trabalho, tal como apresentado pelos autores, os agentes restrição são geralmente humanos, e os agentes variáveis são automatizados. Uma desvantagem desta aproximação é o facto de um *agente restrição ter de indicar ao agente variável qual a sua função de utilidade*. O agente restrição, ao não revelar a sua função de utilidade, poderia tentar negociar o melhor preço para ele, e não sujeitar-se ao melhor preço que o agente variável encontra como sendo o que maximiza, simultaneamente, a função de utilidade de ambas as partes.

6.5.8. Análise Comparativa

As duas figuras seguintes sumariam os problemas encontrados nos algoritmos de resolução de PSDD descritos nas secções anteriores. Em cor cinzenta estão identificadas os problemas encontrados em um algoritmo, e resolvidos no algoritmo subsequente da figura respectiva. A primeira figura desta página (Figura 29) enumera os problemas encontrados nos algoritmos de resolução de PSDD quando um agente é responsável por uma única variável. A segunda figura (Figura 30) refere a mesma informação, agora para os algoritmos de resolução de PSDD em que um agente é responsável por múltiplas variáveis.

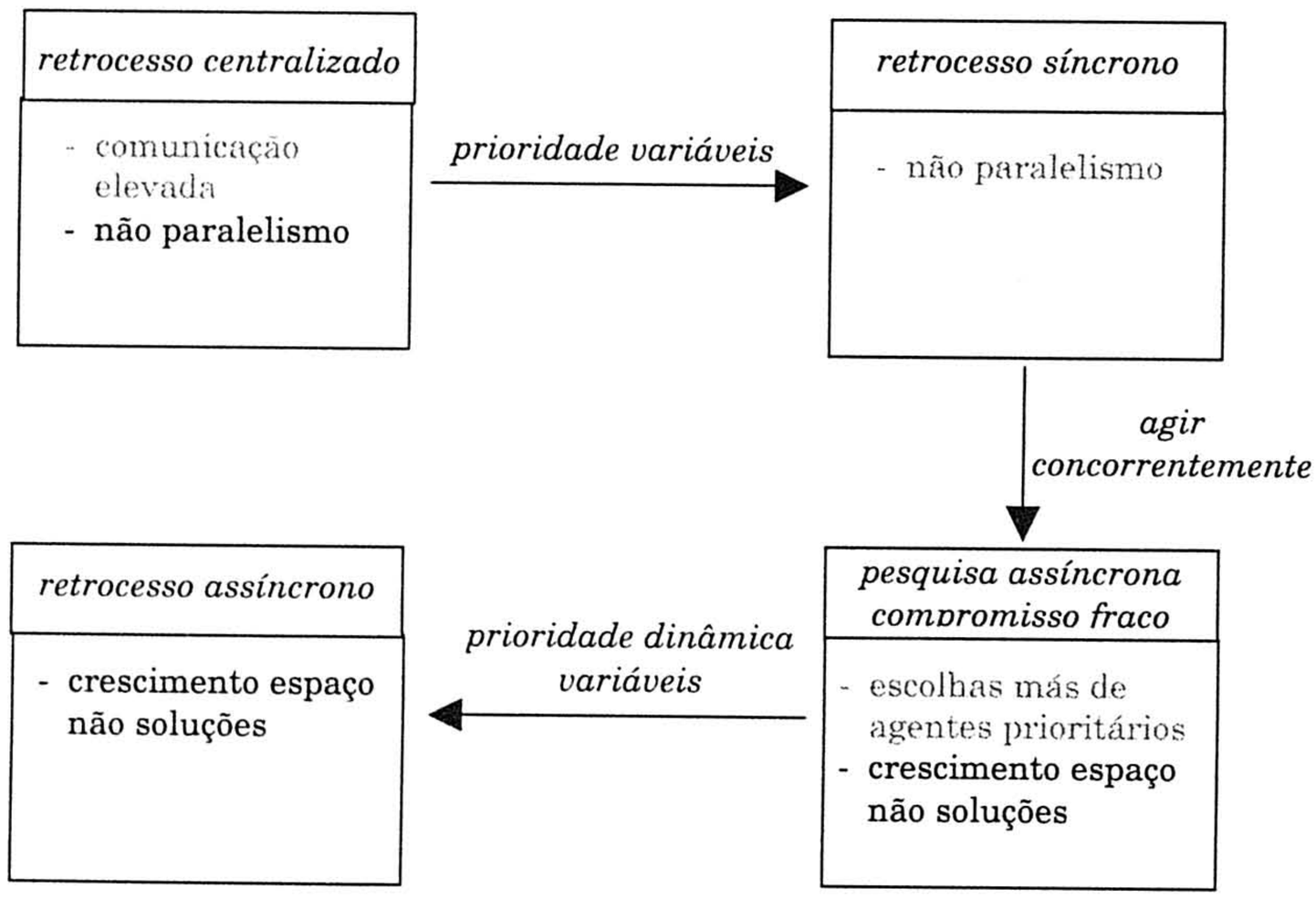


Figura 29. Algoritmos de resolução de PSDD (uma variável)

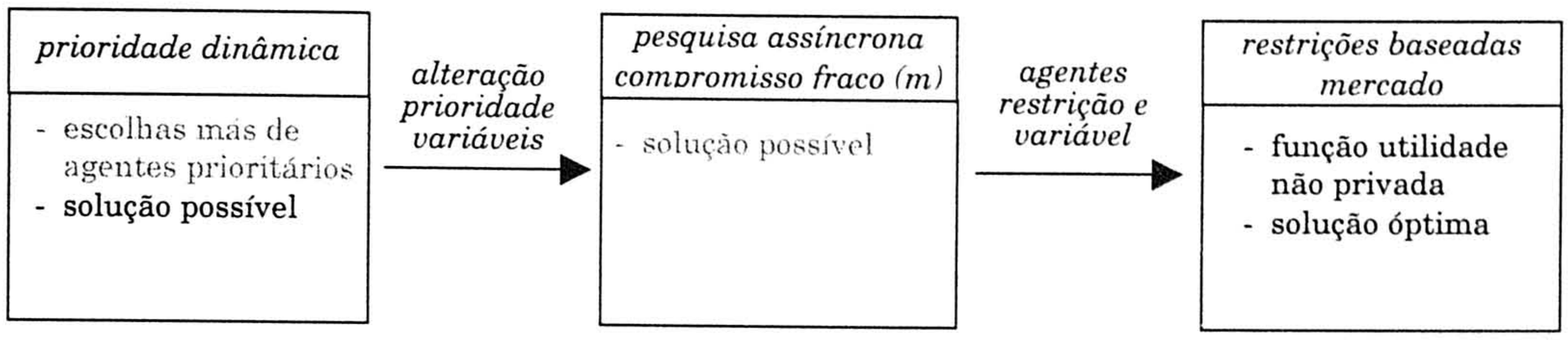


Figura 30. Algoritmos de resolução de PSDD (múltiplas variáveis)

O algoritmo que mais se aproxima dos requisitos presentes no contexto de formação de uma Empresa Virtual, é sem dúvida, o último algoritmo apresentado: *restrições baseadas no mercado*. Contudo, o facto de este algoritmo obrigar a que a função de utilidade de um agente seja conhecida para os outros agentes do sistema, torna inviável a sua utilização no nosso trabalho.

A secção seguinte descreve o algoritmo de resolução de PSDD proposto.

6.6. Resolução de dependências inter-empresas

O objecto na base da constituição de uma Empresa Virtual, que foi denominado anteriormente de *bem*, simplesmente, não é mais do que um conjunto de componentes. Diferentes empresas presentes no mercado têm competência para a produção de diferentes componentes. Os componentes, por sua vez, são descritos por um conjunto de atributos. Estes atributos são geralmente dependentes uns dos outros, e atributos pertencentes a um componente (ligados a uma empresa) são dependentes de atributos pertencentes a outro componente (ligados a outra empresa). No contexto que estamos a considerar, as ***variáveis***, que foram sendo referidas na secção anterior, são os ***atributos*** dos componentes que se encontram distribuídos pelas empresas que irão formar a EV.

Antes de descrever como este processo se realiza, recorda-se aqui brevemente parte do processo de negociação referido no capítulo anterior. A negociação ocorre quando um *agente mercado* pretende seleccionar um *agente empresa* para produção de determinado componente, e consequente pertença à Empresa Virtual.

Envio de um anúncio por parte do agente mercado

O *agente mercado* envia para o mercado mensagens relativas à necessidade de obtenção de componentes específicos. Cada uma destas mensagens inicia um processo de negociação, e inclui a seguinte informação (conforme descrito no capítulo anterior):

anuncio (AgM, Cmpt)

- *AgM* é o identificador do agente mercado.
- *Cmpt* é o identificador do componente que constitui o objecto da negociação.

Envio de uma proposta por parte do agente empresa

Em resposta a este anúncio, os agentes empresa com competência para produzir o componente *Cmpt*, respondem ao agente mercado com uma proposta. A mensagem correspondente inclui a seguinte informação (conforme descrito no capítulo anterior):

proposta (AgE, Pr, Cmpt, Vals)

- *AgE* é o identificador do agente empresa.
- *Pr* é o identificador da proposta.
- *Cmpt* é o identificador do componente em negociação.
- *Vals* é uma lista dos valores propostos para os diferentes atributos. Cada elemento da lista contém a seguinte informação: $(Atb_i, Valor_i)$

  Atb_i é o identificador do atributo i, e $Valor_i$ é o valor proposto para esse atributo.

Em adição a esta informação, e quando aplicável, o agente empresa envia também as dependências para o componente *Cmpt*. O agente verifica se tais dependências existem, por leitura do seu módulo "Conhecimento Individual", e em caso afirmativo, envia essa informação ao agente mercado, de acordo com a mensagem:

dependencia (AgE, Pr, Deps)

- *AgE* é o identificador do agente empresa.
- *Pr* é o identificador da proposta.
- *Deps* é uma lista das dependências existentes. Cada elemento da lista contém a seguinte informação: $(Atb_i, Comp_j, Atb_w, Vals_w)$
  - Atb_i é o identificador do atributo i que possui uma dependência com outro(s) atributo(s).
  - Atb_w é o identificador do atributo w do componente $Comp_j$, que é dependente de Atb_i .
  - $Vals_w$ é o conjunto de valores que a dependência detectada permite para o atributo Atb_w.

Recepção de propostas por parte do agente mercado

O agente mercado, após receber as propostas de todos os agentes empresa, verifica se algumas delas apresentam dependências que as tornem, no seu conjunto, incompatíveis. Se se verifica tal incompatibilidade, o agente mercado envia aos agentes empresa respectivos uma mensagem indicativa dessa incompatibilidade.

A mensagem enviada a um agente empresa AgE_a apresenta a seguinte estrutura:

dependencia_a ***(Pr_a, Atb_a, {AgE_b, Pr_b, Atb_b})***

- Pr_a é o identificador da proposta que o agente AgE_a enviou, e inclui dependências não resolvidas.
- Atb_a é o identificador do atributo que apresenta dependências não resolvidas.
- AgE_b é o identificador do agente AgE_b responsável pelos componentes dependentes do atributo Atb_a.
- Pr_b é o identificador da proposta que o agente AgE_b enviou, e inclui dependências não resolvidas com o atributo Atb_a.
- Atb_b é o identificador do atributo Atb_b que possui uma dependência com Atb_a.

O agente mercado envia esta mensagem a todos os agentes empresa que apresentaram propostas incompatíveis. É da responsabilidade dos agentes empresa resolver as dependências existentes entre os valores das suas propostas, e apresentar novas propostas ao agente mercado. O agente mercado não participa directamente no processo de resolução destas dependências (ver Figura 31). A sua função é apenas pôr em contacto os agentes empresa respectivos.

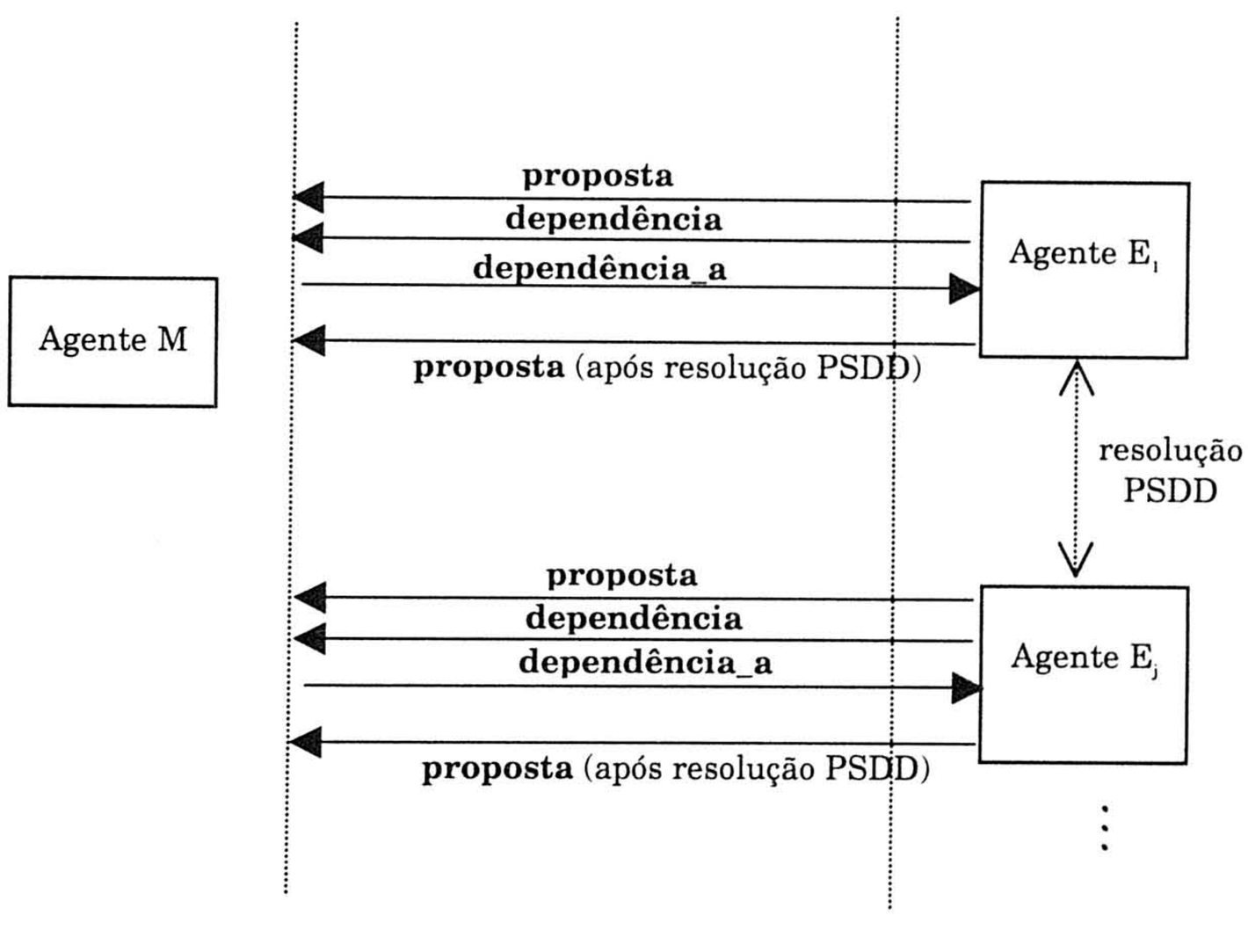


Figura 31. Protocolo de resolução de PSDD

6.6.1. Resolução do Problema de Satisfação de Dependências Distribuídas

O processo de resolução de PSDD ocorre agora entre os agentes empresa que apresentaram propostas incompatíveis. O algoritmo proposto permite que os agentes empresa troquem mensagens entre si, relaxando as variáveis dependentes até que uma solução global seja encontrada [Oliveira e Rocha, 2000].

Quando um agente relaxa o valor de uma variável, está a adoptar uma solução não ideal para si, o que se traduz em uma diminuição da sua utilidade.

A ***diminuição da utilidade (du)*** por relaxação de uma variável é definido como:

> *A diferença entre o valor de utilidade da solução original proposta por um agente (solução óptima em um determinado instante) e o valor de utilidade de uma solução que resultará da relaxação dessa variável.*

O algoritmo proposto é explicado nos pontos seguintes:

- A proposta original de um agente *i* (aquela que contém as dependências não resolvidas) é a sua solução local óptima nesse instante. Essa solução é designada por s^*.
- De modo a resolver as dependências distribuídas, os agentes trocam entre si soluções locais alternativas. A escolha de uma solução local s^k, em detrimento da solução óptima, implica necessariamente a diminuição da utilidade do agente *i*, do valor $du_i(s^k)$.

  $du_i\left(s^k\right) = Aval\left(s^*\right) - Aval\left(s^k\right)$,

  Aval representa o valor de avaliação (ou utilidade) da solução.

  O agente escolhe relaxar a variável dependente, para um valor que minimize a sua diminuição de utilidade. A solução escolhida é a solução *s'*, sendo:

  $s' : \forall_k \, , \, min\left(du_i\left(s^k\right)\right) = du_i\left(s'\right)$
- Para o(s) outro(s) agentes envolvidos no processo de resolução do PSDD, este agente envia: a nova solução *s'*, o valor da diminuição da sua utilidade local ($du_i(s')$), e todas as dependências dessa nova solução *s'*.
- Quando um agente *j* recebe, de um outro agente, uma nova solução s^k que inclui a relaxação de algumas variáveis da parte deste:
  - Calcula a sua diminuição de utilidade para essa nova solução *s'*:

    $du_j\left(s^k\right) = Aval\left(s^*\right) - Aval\left(s^k\right)$

    e envia esse valor aos outros agentes envolvidos no processo de resolução do PSDD.

- Adiciona esse valor à diminuição de utilidade para os outros agentes envolvidos no processo de resolução de PSDD, determinando o valor de *diminuição de utilidade total* da solução s^k ($dut(s^k)$).

$$dut\left(s^k\right)=\sum_a du_a\left(s^k\right) \quad , \quad a \in \{1 \ldots n\}, \text{ conjunto agentes envolvidos na resolução PSDD}$$

- Se um agente não consegue determinar uma solução local que possua um valor de diminuição de utilidade inferior ao valor de diminuição de utilidade total de uma solução já proposta, aceita essa solução.

  - O algoritmo termina quando todos os agentes envolvidos na resolução do PSDD concordam com uma mesma solução s^m. Essa solução é a que minimiza o valor de *diminuição de utilidade total*.

$$s^m : \forall_k , min\left(dut\left(s^k\right)\right)=dut\left(s^m\right)$$

  - Cada um dos agentes envia novamente uma proposta ao agente mercado, que inclui agora os valores, para as variáveis dependentes, acordados neste processo.

O algoritmo descrito respeita um elemento muito importante no contexto de uma actividade comercial (electrónica ou não), que é a questão da privacidade da informação dos participantes no comércio, neste caso, empresas. Geralmente, uma empresa não quer relevar a sua informação privada às outras empresas do mercado, por uma questão de não perder o seu poder negocial.

O agente empresa, inicialmente, não revela todos os possíveis valores para o domínio de uma variável. Claro que durante o processo de resolução de PSDD, estes valores vão sendo revelados pela necessidade de estabelecer um acordo. Mas somente quando necessário.

Outro facto a salientar é que os valores de utilidade das soluções propostas em cada passo do processo por cada um dos agentes não representam o valor real da utilidade dessa solução. Representam apenas o desvio da utilidade óptima, não sendo a utilidade real revelada nunca.

Para um melhor entendimento deste algoritmo, apresenta-se um *exemplo* meramente ilustrativo e independente de qualquer aplicação concreta (Figura 32).

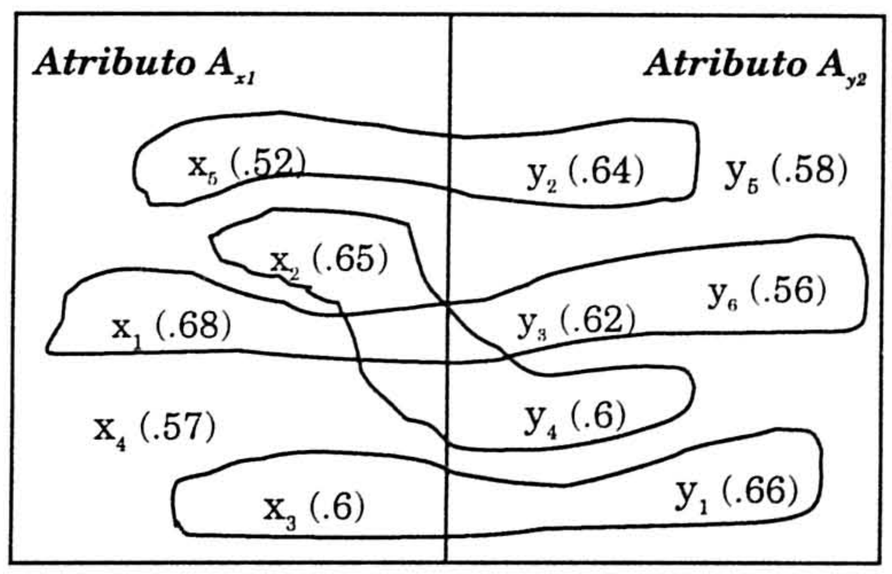


Figura 32. Exemplo de resolução de PSDD

Suponha-se a existência de dois agentes empresa, AgE_x e AgE_y, sendo que:

- A empresa representada pelo Agente AgE_x tem competência para disponibilizar o componente $Cmpt_x$ (com atributos $A_{x1}, A_{x2}, ..., A_{xm}$).
- A empresa representada pelo Agente AgE_y tem competência para disponibilizar o componente $Cmpt_y$ (com atributos $A_{y1}, A_{y2}, ..., A_{yn}$).
- O domínio do atributo A_{x1} é representado pelos valores: $x_1, x_2, ..., x_5$ (por ordem de preferência do agente AgE_x).
- O domínio do atributo A_{y2} é representado pelos valores: $y_1, y_2, ..., y_6$ (por ordem de preferência do agente AgE_y).
- Os atributos A_{x1} e A_{y2} são dependentes. Essa dependência é ilustrada nas linhas fechadas existentes na Figura 32, isto é, certos valores de A_{x1} (x_i) implicam determinados valores de A_{y2} (y_i).
- O valor de avaliação associado a cada solução local (que inclui como valor do atributo o indicado) está escrito entre parentesis. Estes valores de avaliação são, obviamente, locais a cada agente. Quer isto dizer que o AgE_x e AgE_y apenas conhecem as avaliações locais das soluções (lado esquerdo e direito da figura, respectivamente).

A tabela seguinte (Tabela 8) apresenta as conversações estabelecidas entre os dois agentes.

AgE_x			AgE_y		
solução proposta	*du*	du_{total}	du_{total}	*du*	*solução proposta*
$s^1 \equiv (A_{x1}=x_1 , A_{y2}=y_3)$	0		0.04	0.04	
$s^2 \equiv (A_{x1}=x_1 , A_{y2}=y_6)$	0		0.1	0.1	
	0.08	0.08		0	$s^3 \equiv (A_{x1}=x_3 , A_{y2}=y_1)$
$s^4 \equiv (A_{x1}=x_2 , A_{y2}=y_4)$	0.03		0.09	0.06	
	0.16	0.18		0.02	$s^5 \equiv (A_{x1}=x_5 , A_{y2}=y_2)$
$s^1 \equiv (\mathbf{A_{x1}=x_1 , A_{y2}=y_3})$		**0.04**	**0.04**		$s^1 \equiv (\mathbf{A_{x1}=x_1 , A_{y2}=y_3})$

Tabela 8. Exemplo de uma resolução de PSDD entre dois agentes

- O agente AgE_x propõe a melhor solução para si (que possui o valor de diminuição de utilidade (***du***) mais baixo): s^1 e s^2, ambas com valores de ***du*** *nulos*.
- O agente AgE_y avalia estas soluções, e calcula os valores de ***du*** total como sendo *0.04* e *0.1*, respectivamente.

  O valor de ***du*** total é calculado como a soma do valor de ***du*** deste agente (para a solução s^1: 0.66-0.62=0.04) e do valor de ***du*** do agente AgE_x (para qualquer das soluções: 0).

  O agente AgE_y propõe a melhor solução para si: s^3 com valor de ***du*** igual a *zero*.

- O agente AgE_x avalia esta solução s^3, e calcula o valor de ***du*** total como sendo *0.08*.

  O agente AgE_x propõe a segunda melhor solução para si: s^4 com valor de ***du*** igual a *0.03*.

  Novas soluções são propostas por um agente enquanto existir uma solução cujo valor de ***du*** local é inferior ao valor de ***du*** *total* de outra qualquer solução já estudada.

- O agente AgE_y avalia esta solução s^4, e calcula o valor de ***du*** como sendo 0.6 (correspondendo a um valor de ***du*** total de *0.09*).

  O agente AgE_y propõe a segunda melhor solução para si: s^5 com valor ***du*** igual a *0.02*.

- O agente AgE_x avalia esta solução s^5, e calcula o valor de ***du*** como sendo 0.16 (correspondendo a um valor de ***du*** total de *0.18*).

  Como o agente AgE_x não possui nenhuma solução que seja melhor que a solução s^1 já proposta anteriormente, volta a propor essa solução. Isto acontece porque a terceira melhor solução para o agente AgE_x é ($A_{x1}=x_3$, $A_{y2}=y_1$), da qual resulta um valor ***du*** igual a 0.08. Este valor é superior ao valor de ***du*** total da solução s^1.

- O agente AgE_y não possui nenhuma solução que seja melhor que a solução s^1, e aceita esta solução.

A solução s^1 é a solução acordada entre os dois agentes AgE_x e AgE_y. Cada um deles reformula agora as propostas anteriormente enviadas ao agente mercado, alterando os valores dos atributos A_{x1} e A_{y2} para os valores da solução s^1.

6.6.2. Transferência de compensações

Após o acordo em uma solução global, os agentes envolvidos no processo de resolução de PSDD, geralmente obtêm diferentes valores de diminuição da utilidade local, e assim, uns agentes são mais penalizados que outros. De modo a garantir que todos os agentes envolvidos no processo possuem o mesmo valor *real* de diminuição da utilidade (*dur*), a diminuição da utilidade total é distribuída entre os agentes [Rocha e Oliveira, 2001]. O cálculo do valor real da diminuição da utilidade de cada agente é apresentado na fórmula (10):

$$dur = \frac{dut\left(s^m\right)}{n} \quad , \qquad n = \textit{número de agentes envolvidos na resolução de PSDD} \tag{10}$$

Como consequência, alguns agentes terão de pagar ao sistema , (conjunto de todos os agentes envolvidos no processo de resolução de PSDD), ou receber do sistema, um valor denominado ***valor de compensação***.

Se o agente i obteve como valor da diminuição da utilidade local para a solução final s^m o valor $du_i(s^m)$, o valor de compensação (vc) é calculado de acordo com a fórmula seguinte (11):

$$vc_i = dur - du_i\left(s^m\right) \tag{11}$$

- Se o valor real da diminuição da utilidade é superior ao valor da diminuição da utilidade local , o agente *i* deve pagar ao sistema o valor de compensação vc_i.
- Se o valor real da diminuição da utilidade é inferior ao valor da diminuição da utilidade local , o agente *i* recebe do sistema o valor de compensação vc_i.

6.7. Conclusão

Neste capítulo, discutimos a necessidade de alargar o processo de negociação descrito no capítulo anterior, com duas funcionalidades exigidas no cenário da formação de uma Empresa Virtual:

- Capacidade de aprendizagem

  A empresa individual, entra em um processo de negociação para inclusão na EV. Esta empresa, está inserida em um mercado electrónico, que, por definição, é um ambiente aberto, e como tal dinâmico e até mesmo desconhecido. É útil que a empresa seja capaz de aprender a alterar o seu comportamento de acordo com a situação do mercado, de modo a manter-se competitiva.
- Resolução de dependências distribuídas

  No processo de formação da Empresa Virtual ocorrem várias negociações simultâneas, uma para cada um dos componentes necessários à EV. Os diferentes componentes, que serão fornecidos por diferentes empresas, possuem, geralmente, dependências entre os seus atributos. As negociações sobre estes componentes (empresas) terão de garantir a obtenção de uma solução global consistente.

Estes dois pontos foram objecto de uma discussão, onde inicialmente foram apresentados alguns algoritmos existentes e analisada a sua aplicabilidade. De seguida, foram descritos os algoritmos propostos nesta tese.

A aprendizagem de um agente empresa, na formulação de propostas para satisfação de um determinado componente, é realizada usando o algoritmo de Negociação-Q baseado em aprendizagem-Q. Neste algoritmo, o agente recebe do ambiente um comentário que lhe permite deduzir o impacto da sua acção anterior.

No cenário actual, esse comentário é uma *avaliação qualitativa* que o agente mercado faz dos valores presentes na proposta recebida. Com base nesse comentário, o agente empresa deduz um valor de avaliação da sua proposta para o mundo exterior, e procura realizar as acções que maximizem esse valor de avaliação exterior (o objectivo é vencer a negociação), mas tentando também não diminuir demasiado a sua utilidade própria.

O algoritmo de Negociação-Q, incorpora no processo de formulação de propostas, durante a negociação entre empresas, uma versão da aprendizagem-Q. O algoritmo de aprendizagem-Q foi adaptado ligeiramente, por alteração do espaço de exploração para um subconjunto que

inclui apenas as soluções consideradas boas soluções (e deduzidas do comentário recebido pelo agente mercado).

A resolução do problema da satisfação de dependências distribuídas (PSDD) implica a resolução de dependências entre diferentes propostas enviadas por diferentes agentes empresa. O algoritmo proposto permite que os agentes troquem entre si soluções possíveis, por relaxação local dos valores as variáveis dependentes, e respectiva avaliação. A avaliação local de uma solução é traduzida por um valor designado por diminuição de utilidade (***du***). A diminuição de utilidade de uma solução é o quanto a utilidade, para esse agente, é diminuída, por adopção dessa solução específica em detrimento da solução original (óptima).

A solução final é a solução consistente (é satisfeita a dependência das variáveis) que minimiza o valor da diminuição de utilidade total. Um aspecto muito importante deste algoritmo é a manutenção da privacidade da informação dos agentes empresa. Sempre que um agente relaxa o valor de uma variável, indica aos outros agentes o quanto lhe custa efectuar tal relaxação. Mas essa informação não revela a utilidade real dessa solução para o agente, apenas a diminuição relativa da sua utilidade original.

Capítulo 7

Descrição e Avaliação do Sistema ForEV

O sistema *ForEV* ("*Formação de Empresas Virtuais*") implementa o processo de formação de uma Empresa Virtual, através da selecção das empresas mais promissoras na satisfação de uma necessidade específica de um cliente. Este sistema ilustra as metodologias de negociação automática propostas na tese e discutidas nos dois capítulos anteriores. No presente capítulo é descrito o sistema implementado, sendo apresentada a sua arquitectura e detalhes de implementação relevantes. São ainda reportados e analisados alguns resultados obtidos, por simulação em um cenário simplificado no domínio da indústria têxtil.

7.1. Introdução

As necessidades actuais do mercado obrigam ao surgimento e/ou adaptação das empresas a novas formas de comportamento e desenvolvimento organizacional. O objectivo primário de uma qualquer empresa é, sem dúvida, a maximização do lucro. A produção em grande escala, por decréscimo dos custos adicionais associados à produção do bem, é um factor que contribui para a maximização do lucro. Assim, as empresas procuram produzir bens que satisfaçam as necessidades básicas do maior número de clientes possíveis, obrigando estes a adaptar as suas necessidades ao bem oferecido. Com a crescente competitividade do mercado, os papéis tendem a inverter-se e é agora o cliente quem "dita" as leis. O cliente apresenta-se cada vez mais exigente e específico. Para conseguir sobreviver em um mercado competitivo, a empresa deve estar apta a satisfazer a exigência e a especificidade dos clientes. A empresa deixa agora de fornecer bens que apenas cobrem necessidades básicas, para se dedicar à especialização em um ou mais domínios. A adequada especialização de uma empresa, especialmente uma pequena ou média empresa, torna-se viável apenas quando o domínio em questão é reduzido. E se uma empresa se especializa em um domínio reduzido, a satisfação de uma qualquer necessidade final de um cliente, obriga, muito provavelmente, à associação de várias empresas especialistas. A Empresa Virtual dá uma resposta a este problema.

A Empresa Virtual (EV) é uma associação temporária de empresas independentes, empresas estas que apresentam as competências mais adequadas à satisfação da necessidade imediata do cliente. Uma EV caracteriza-se pelo seu carácter temporário, o que significa que surge quando da detecção da necessidade de satisfazer um cliente, e desaparece quando tal

satisfação é obtida. Outra característica importante de uma EV é a sua excelência de competência, o que significa que as empresas a incluir nesta associação são as mais competentes no momento, isto é, as que melhor respondem, no instante actual, aos requisitos do cliente.

O sistema *ForEV* possibilita a formação de uma Empresa Virtual, usando metodologias de negociação automática na selecção das empresas mais competentes (ou mais atractivas) a incluir nesta associação. Este sistema é o objecto de discussão do presente capítulo.

7.2. A arquitectura do sistema ForEV

O sistema *ForEV* foi desenvolvido com o intuito de modelar as interacções entre diferentes entidades, denominadas empresas e cliente. O objectivo é seleccionar de entre estas empresas o conjunto daquelas que são as mais promissores para a satisfação de uma necessidade específica do cliente. O conjunto de empresas seleccionadas constituem assim a Empresa Virtual que existirá apenas durante o tempo necessário para a satisfação do cliente. Porque as empresas e clientes têm objectivos e comportamentos próprios, e são entidades independentes, o uso da metodologia Multi-Agente torna-se adequada na arquitectura do sistema.

As empresas e clientes serão representadas no sistema por agentes – Empresa (*AE*) e Mercado (*AM*), respectivamente - que modelam as respectivas entidades físicas. Estes agentes Empresa e Mercado modelam não o todo da entidade física (empresa ou cliente)[13], mas apenas a sub-parte desta entidade afecta à competência em discussão.

Os agentes Empresa e Mercado encontram-se em um local de mercado onde cooperam com o objectivo de fornecer/obter determinados bens, mantendo objectivos e preferências próprias. Os bens a negociar são descritos segundo uma ontologia (*Ont*) que deve ser conhecida e entendida por todos os participantes. O sistema *ForEV* inclui um agente, denominado agente Registo (*AR*), responsável pela construção e manutenção da ontologia do domínio. Este agente faculta a informação relativa a essa mesma ontologia aos outros agentes Empresa e Mercado, quando questionado por estes. O agente Registo é também responsável pela identificação e estabelecimento de contactos iniciais entre os múltiplos agentes do sistema que possuam interesses relacionados.

O sistema Multi-Agente é representado por um tuplo *ForEV* = <AR, {AM}, {AE}, Ont>

As secções seguintes descrevem em pormenor os diferentes agentes implementados no sistema *ForEV*: o agente Registo, o agente Mercado e o agente Empresa.

---

[13] Ao longo do capítulo, a referência à entidade física empresa é efectuada apresentando a palavra "empresa" escrita em caracteres minúsculos. A referência à entidade agente que modela esta entidade física é efectuada apresentando a palavra "Empresa" com o primeiro caracter maiúsculo. O mesmo comentário é válido para a entidade física cliente e o agente Mercado.

7.2.1. Agente Registo

O agente Registo (*AR*) é o agente responsável pela criação e manutenção do local de mercado onde os múltiplos agentes (Empresa e Mercado) se encontram e interagem. Os agentes Mercado publicitam no local de mercado as suas necessidades. Os agentes Empresa publicitam no local de mercado as suas competências. O agente Registo estabelece o contacto entre os agentes Mercado e Empresa que possuam interesses relacionados.

Os agentes Empresa procuram ser seleccionados como fornecedores de bens que satisfaçam as necessidades (parciais) publicitadas pelos agentes Mercado, isto é, o seu objectivo é a sua selecção para parceiro em uma Empresa Virtual cujos membros no seu todo, estão aptos a satisfazer o melhor possível as necessidades dos agentes Mercado. Mas esta interacção entre os agentes Mercado e Empresa implica a concordância em uma ontologia descritiva das competências em discussão. A construção e publicitação dessa ontologia é, neste sistema, da responsabilidade do agente Registo. Assim, o agente Registo possui duas competências principais:

- A identificação e registo de todos os agentes Mercado e Empresa presentes no sistema, e estabelecimento do contacto inicial entre eles.
- A construção da ontologia do mercado e a apresentação dessa mesma ontologia a agentes interessados.

Identificação e registo dos agentes

O agente Registo contém a identificação de todos os agentes Empresa e Mercado que existam no sistema, pois estes, caso pretendam habitar o local de mercado, são obrigados a efectuar um registo. Sem este registo, um agente não tem possibilidade de conhecer os restantes agentes do sistema, ficando impossibilitado de participar em qualquer interacção futura. É o agente Registo que coloca em contacto agentes que tenham interesses complementares, fazendo a "apresentação" a um agente do sistema, daqueles outros agentes que são relevantes para o primeiro. A figura seguinte (Figura 33) ilustra este procedimento.

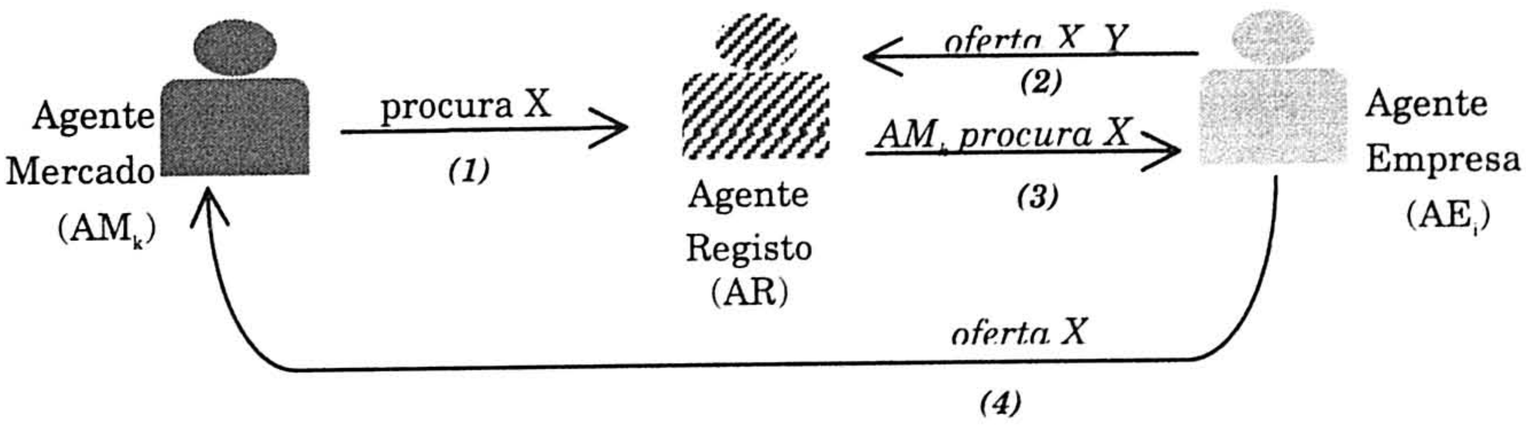


Figura 33. O agente Registo como estabelecedor de contacto entre agentes relevantes

O agente Registo recebe informação do agente Mercado AM_k relatando uma necessidade X (mensagem (1)). O agente Registo recebe também informação do agente Empresa AE_i, relatando a sua disponibilidade em fornecer as competências X e Y (mensagem (2)). O agente Registo "apresenta" então ao agente Empresa AE_i, o agente Mercado AM_k como estando interessado na competência X (mensagem (3)). Neste momento, o agente Empresa AE_i, conhecedor da existência do agente de Mercado AM_k, envia a este uma mensagem referindo a sua disponibilidade para fornecer a competência X (mensagem (4)).

Construção e disponibilização de uma ontologia

A ontologia fornece o vocabulário de representação para um domínio específico. Uma ontologia inclui as representações lexical, sintáctica e semântica dos conceitos do domínio em análise. O léxico inclui o vocabulário usado no domínio. Por representação sintáctica entende-se a estrutura e decomposição dos termos presentes no vocabulário. Por representação semântica entende-se a manutenção da consistência dos termos presentes no vocabulário (um mesmo termo deve ter o mesmo significado para qualquer agente). No sistema *ForEV*, o agente Registo inclui apenas a representação sintáctica dos conceitos do domínio.

Os conceitos a representar são as necessidades dos clientes, e também as competências das empresas. A necessidade (produto ou serviço) expressa por um cliente é identificada pela entidade *Bem*. As competências das empresas são identificadas pelas entidades *Componentes*.

A ontologia *Ont* apresenta a seguinte estrutura, para a representação das necessidades e competências do mercado:

- A entidade *Bem* é identificada por um conjunto de *Componentes (Compt)*.

  $$Bem \rightarrow \{Cmpt\}$$

- A entidade *Componente* é identificada por um conjunto de *Atributos (Atb)*.

  $$Cmpt \rightarrow \{Atb\}$$

- A entidade *Atributo* é identificada pelo tipo de valores que assume (inteiro, real, string), e pelo domínio de valores passíveis de ocorrer (valores discretos, valores contínuos).

  $$Atb \rightarrow Val \quad , Val = \langle\, Tipo, Dom \,\rangle$$

A figura seguinte (Figura 34) apresenta um dos passos da construção da ontologia *Ont* no sistema *ForEV*. Esta figura ilustra o processo de descrição de uma entidade *Bem*, sendo possível seleccionar, de uma lista de *Componentes*, quais os que compõem esse *Bem*. No caso apresentado, o *Bem* ***casaco*** ("coat") é descrito como sendo composto pelos *Componentes* ***tecido*** ("tissue"), ***botão*** ("button") e ***máquina_costura*** ("sewing_machine").

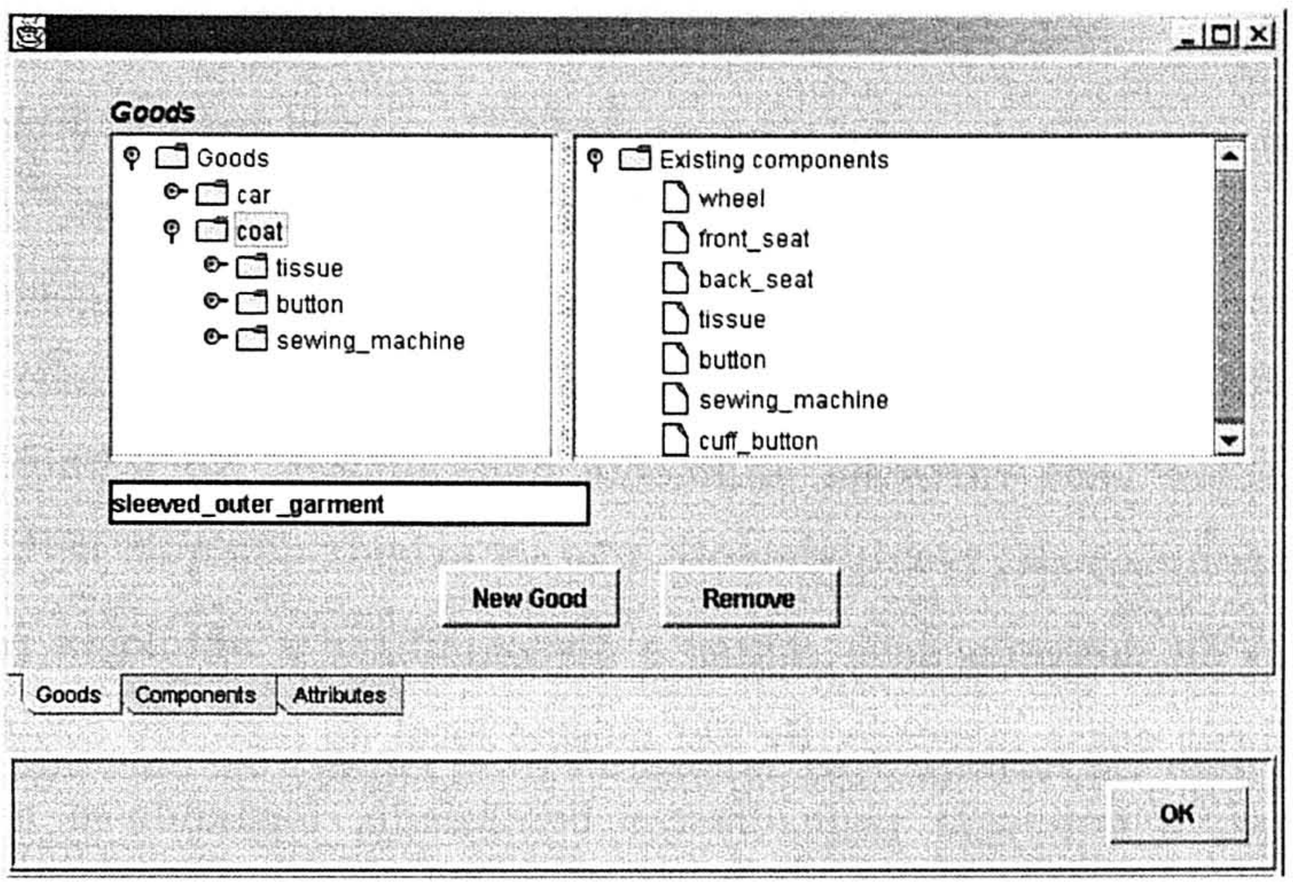


Figura 34. Descrição da entidade Bem, na construção da ontologia

A construção da ontologia obriga ainda à descrição das entidades *Componente* e *Atributo,* processos que não são aqui ilustrados graficamente. A entidade *Componente* é descrita pela enumeração dos *Atributos* que o compõem (por exemplo, o componente ***tecido*** é composto pelos atributos ***preço***, ***quantidade***, ***tempo_entrega***, ***cor*** e ***categoria***). A entidade *Atributo* é descrita pelo tipo e domínio de valores possíveis de assumir (por exemplo, o atributo ***preço*** é descrito como um atributo do tipo real, com domínio igual ao conjunto dos valores positivos).

7.2.2. Agente Mercado

O agente Mercado AM_k é o agente responsável pela modelação da entidade física cliente. Este agente publicita no local de mercado as suas necessidades, de acordo com a ontologia *Ont* estabelecida, às quais associa as preferências próprias de um cliente particular. Ao agente Mercado está ainda atribuída a função de seleccionar quais os agentes Empresa AE_i a incluir na Empresa Virtual.

Publicitação das necessidades

O agente Mercado publicita as suas necessidades por identificação de qual a entidade *Bem* que pretende obter. Esta publicitação é realizada por envio de uma mensagem ao agente Registo (mensagem (1) na Figura 33). Para cada *Bem* deve ser construído um agente Mercado distinto.

O facto de um agente Mercado apenas incluir um único *Bem* como necessidade não está directamente ligado a uma questão de implementação, mas sim a uma questão conceptual. Um local de mercado tem a ele associado uma série de características que poderão depender do domínio em análise, das quais destacamos a natureza do *Bem* em negociação e a especificação da ontologia necessária.

- O *Bem* apresentado como uma necessidade, e que irá ser o objecto da negociação, impõe requisitos diferentes de acordo com a sua natureza. Assim, por exemplo, quando a negociação recai sobre bens essenciais, as exigências de segurança e certificação a impor ao sistema não são tão rígidas como no caso em que a negociação recai sobre bens raros ou altamente dispendiosos. No primeiro caso, aos agentes participantes pode, eventualmente, não ser exigida qualquer certificação.
- O local de mercado deve conter e disponibilizar a ontologia relativa aos bens em negociação nesse mercado. Se um mesmo local de mercado contém bens de domínios díspares, a ontologia pode crescer demasiado, tornando-se a sua manutenção e pesquisa em uma tarefa demasiado custosa.

Por estas duas razões essenciais, foi efectuada a opção de considerar um local de mercado único para cada *Bem* em negociação. No entanto, é permitido a um agente Empresa estar registado em mais do que um local de mercado, se as suas competências abrangem mais do que um domínio.

A necessidade do Agente Mercado é identificada por um *Bem* descrito na ontologia do sistema. Como já foi referido, um *Bem* é identificado por um conjunto de *Componentes*, e um *Componente* por um conjunto de *Atributos*. É na ordenação relativa dos *Atributos* afectos aos múltiplos *Componentes*, e na identificação dos valores desses mesmos *Atributos*, que o agente Mercado especifica as suas preferências.

- Ordenação dos *Atributos*

  A ordem posicional dos *Atributos* em um *Componente*, determina a preferência relativa destes.

  $$Compt_X = \{Atb_{X1}, Atb_{X2}, Atb_{x3}\}$$

  $Atb_{x1} >_{imp} Atb_{x2} >_{imp} Atb_{x3}$, $>_{imp}$ significa "mais importante que"

  Assim, definir o *Componente X* como sendo constituído pelos *Atributos* Atb_{x1}, Atb_{x2} , e Atb_{x3} (a ordem é relevante), significa que o atributo Atb_{x1} é mais importante que o atributo Atb_{x2} e este mais importante que o atributo Atb_{x3}. Esta consideração é relevante, pois o agente Mercado, durante o processo de negociação, irá seleccionar as propostas que melhor o satisfaçam, sendo estas as propostas que apresentam os valores mais próximos dos valores óptimos (preferidos) especificados para os atributos mais importantes.
- Identificação dos valores de um *Atributo*

  A identificação dos valores de um *Atributo* representa o conjunto de valores que o agente Mercado aceita para esse atributo. Tal como descrito no ponto anterior, também o conjunto de valores de um *Atributo* é apresentado por uma ordem de preferência, isto é, os valores de preferência mais elevada devem ser apresentados

antes dos valores de menor preferência.

$$Val_Atb = \{Valor_1, Valor_2, \ldots, Valor_n\}$$
$$Valor_1 >_{imp} Valor_2 >_{imp} \ldots >_{imp} Valor_n$$
$$Valor_i \in \{V_a, V_a \rightarrow V_b\}$$

Cada um dos elementos do conjunto de valores referido é identificado por um valor único (V_a) ou um intervalo de valores ($V_a \rightarrow V_b$). Assim, é possível identificar domínios de valores descontínuos.

A figura seguinte (Figura 35) ilustra o processo de descrição dos valores de um *Atributo* por parte do agente Mercado no sistema *ForEV*. Convém aqui apresentar uma breve explicação do significado da informação presente nesta figura. Neste exemplo, é descrito o atributo ***quantidade***, que é um dos atributos do componente ***tecido*** (*Bem*=casaco, *Componente*=tecido, *Atributo*=quantidade).

O domínio do atributo ***quantidade*** é o conjunto de valores inteiros compreendidos entre 100 e 1000. O agente Mercado definiu as seguintes preferências para o atributo ***quantidade***: os valores de maior preferência são os valores inteiros compreendidos entre 300 e 800, com variação linear ao longo do tempo (notar a denominação *:ln* na janela "valores preferidos"); os valores de preferência imediatamente seguinte, são os valores compreendidos entre 800 e 1000, sendo igualmente importantes todos os valores inscritos neste intervalo (notar a denominação *:eq* na mesma janela); finalmente, os valores de menor preferência é o conjunto de valores compreendidos entre 100 e 300, com variação linear ao longo do tempo.

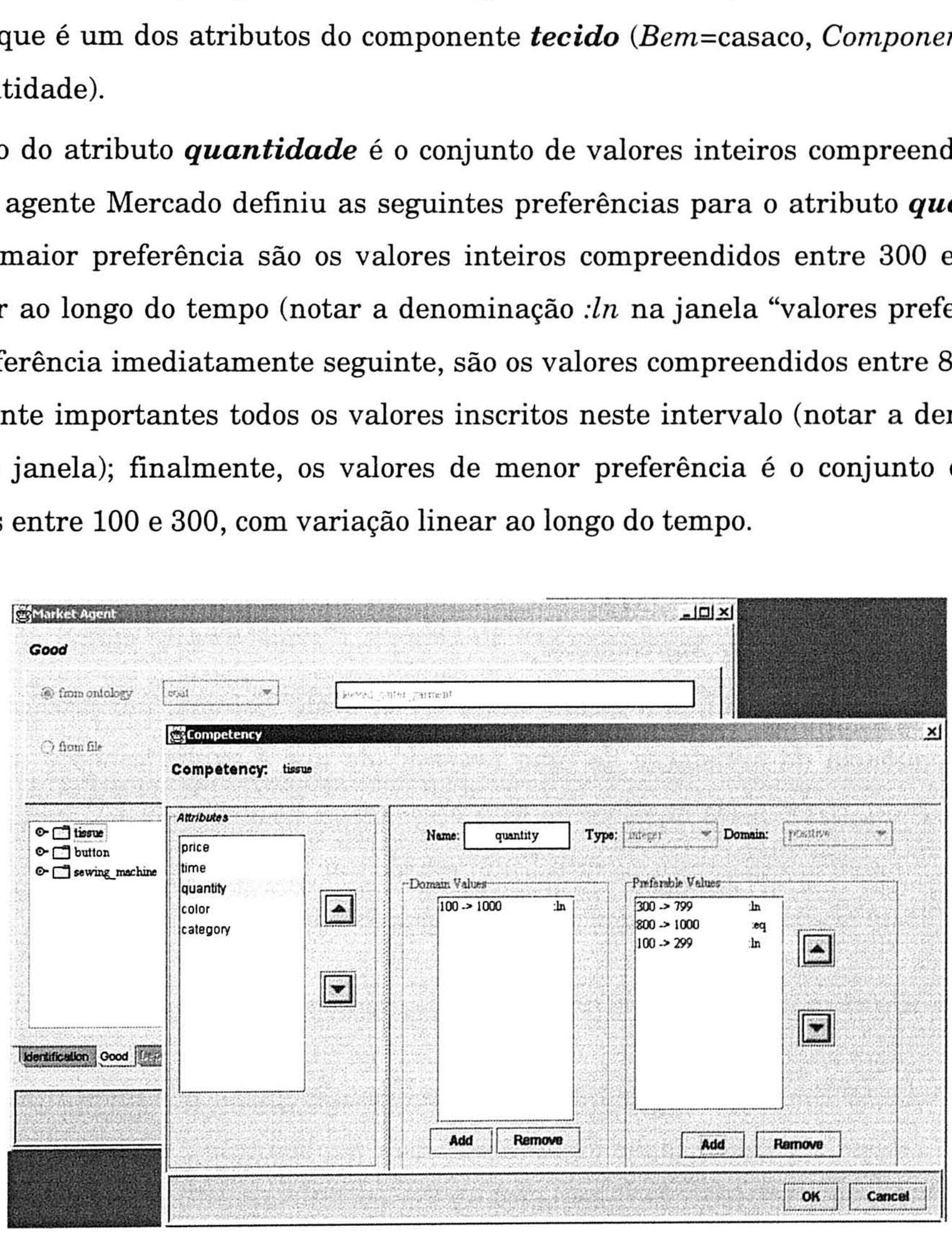


Figura 35. Descrição de um Atributo, na definição de uma necessidade do agente Mercado

Selecção dos agentes Empresa a incluir na EV

O agente Mercado AM_k publicita no agente Registo a sua necessidade actual (mensagem (1) na Figura 33). O agente Registo informa os agentes Empresa AE_i capazes de satisfazer parte, ou a totalidade, de tal necessidade da identificação do agente Mercado (mensagem(3) na Figura 33). Os agentes Empresa AE_i enviam então ao agente Mercado AM_k a sua disponibilidade para fornecimento de uma ou várias competências (mensagem (4) na Figura 33). Neste passo, o agente Mercado AM_k inicia a negociação com os vários agentes Empresa AE_i para selecção de quais os mais competentes para a satisfação da sua necessidade actual. Esta negociação resulta em um processo de múltiplas rondas onde o agente Mercado AM_k funciona como coordenador ou organizador, enviando aos agentes Empresa AE_i (respondentes) um comentário qualitativo da avaliação da sua proposta actual, segundo o protocolo definido na secção 5.4. A avaliação realizada pelo agente Mercado é efectuada com base na comparação entre as múltiplas propostas recebidas dos diversos agente Empresa AE_i. Este processo será objecto de uma descrição mais detalhada na secção 7.3.2.

7.2.3. Agente Empresa

Cada agente Empresa AE_i é o agente responsável pela modelação de uma entidade física empresa específica. Cada um destes agentes publicita no local de mercado as suas competências, de acordo com a ontologia estabelecida, às quais associa as preferências próprias e restrições que apresenta. O agente Empresa AE_i irá competir no mercado, com as suas competências, para pertença a uma Empresa Virtual a formar em resposta a uma necessidade apresentada por um agente Mercado AM_k.

Como nota, referimos que a formação da EV é, neste sistema, um processo que se inicia como consequência da satisfação de uma necessidade que é explicitamente indicada por um agente Mercado. Uma outra hipótese é que o processo de formação da EV seja iniciado quando um agente do sistema (seja um agente Empresa ou um terceiro agente) detecta uma possível oportunidade de negócio. Esta hipótese não foi considerada no sistema *ForEV*.

Publicitação das competências

Cada agente Empresa AE_i publicita as suas competências por identificação de quais as entidades *Componente* que é capaz de fornecer. Esta publicitação é realizada por envio de uma mensagem ao agente Registo (mensagem (2) na Figura 33).

Como já foi referido, um *Componente* é identificado por um conjunto de *Atributos*. É na identificação de cada um dos *Atributos* afectos ao *Componente*, que o agente Empresa AE_i inclui as suas preferências e restrições próprias. A identificação de um *Atributo* Atb_i deve especificar:

- Os valores que o agente aceita para esse *Atributo*, valores estes que são apresentados por uma ordem de preferência (Val_Atb_i).
- As dependências associadas aos diferentes valores do atributo (Dep_i).

A descrição dos valores de um *Atributo* é um processo idêntico ao já descrito na publicitação de necessidades por parte do agente Mercado (ver secção 7.2.2), razão pela qual se torna escusado realizar aqui qualquer explicação.

As dependências (Dep_i) associadas a um atributo podem ser divididas em três categorias distintas: tempo, evento e valor.

$$Dep_i = \{\{Dept_i\},\{Depe_i\},\{Depv_i\}\}$$

As dependências associadas ao tempo estipulam que determinados valores do domínio só são válidos em intervalos de tempo especificados. As dependências associadas aos eventos estipulam que determinados valores do domínio só são válidos quando ocorrem determinados eventos a especificar. As dependências associadas a valores estipulam que determinados valores do domínio só são válidos se outros atributos de outros componentes possuem os valores especificados. É esta última categoria de dependência que está actualmente implementada no sistema *ForEV*. No restante texto deste capítulo, uma dependência temporal $Dept_i$ é identificada simplesmente por dependência Dep_i.

A figura seguinte (Figura 36) apresenta o processo de definição das dependências associadas a um *Atributo,* no sistema *ForEV*. O exemplo apresentado na figura ilustra a dependência de valores existente entre o atributo ***cor*** do componente ***tecido***, e o atributo ***cor*** do componente ***botão***. Assim, se o atributo ***cor*** do componente ***tecido*** assume o valor *vermelho* (lado esquerdo da janela "dependência"), a gama de valores admissíveis para o atributo ***cor*** do componente ***botão*** é restrita aos valores *vermelho* e *preto* (lado direito da mesma janela).

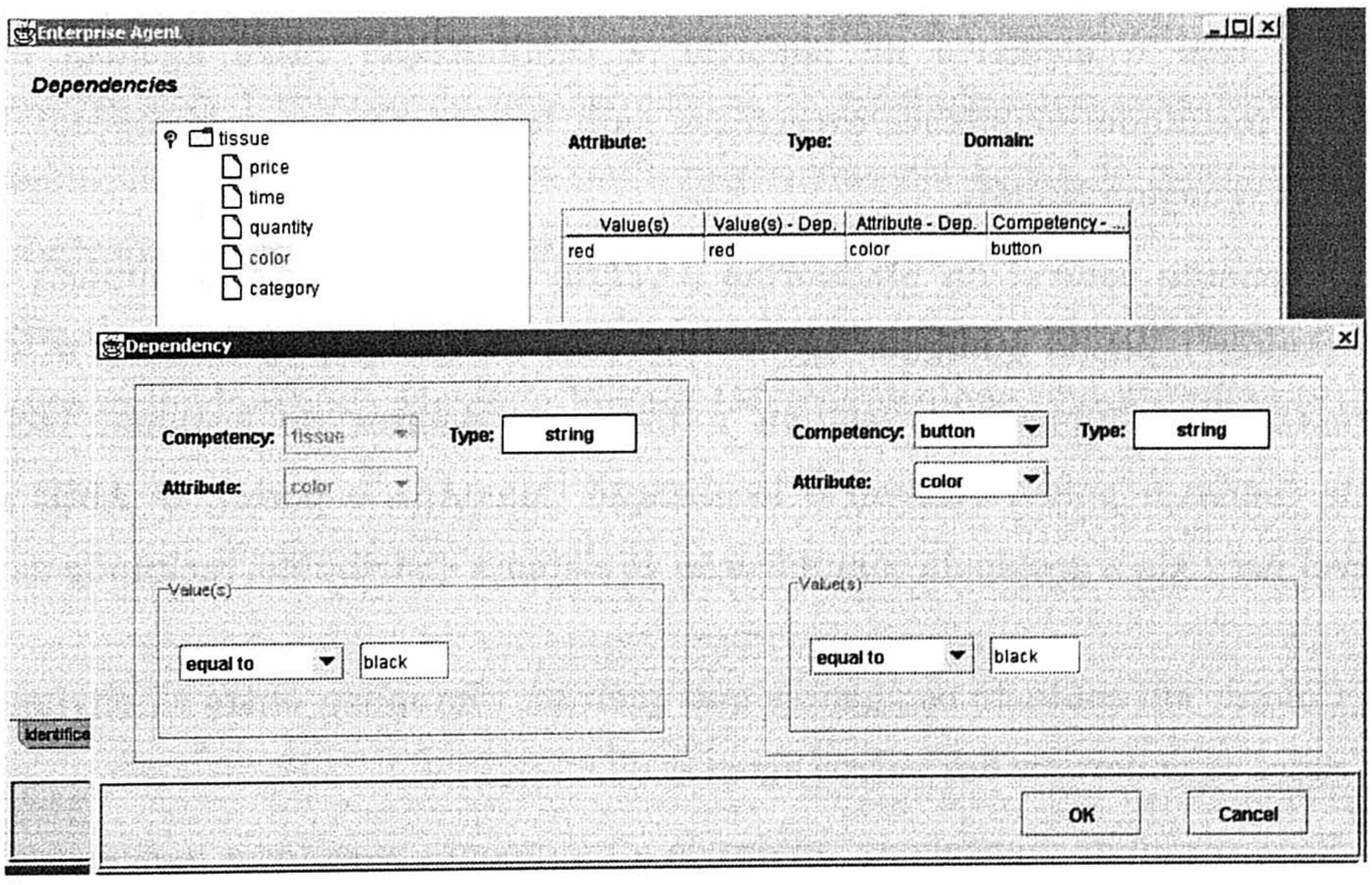


Figura 36. Definição das dependências associadas a um atributo

Negociação para parceiro da EV

O processo de negociação para levar um agente Empresa AE_i a pertencer a uma futura EV é sumariado a seguir. O agente Empresa AE_i publicita no agente Registo AR as suas competências. O agente Registo AR informa este agente Empresa AE_i de quais os agentes Mercado AM_k conhecidos que procuram tais competências. O agente Empresa AE_i comunica então aos agentes Mercado AM_k interessados as suas competências. Os agentes Mercado AM_k iniciam um processo de negociação, composto por múltiplas rondas, com vista à selecção dos agentes Empresa AE_i mais competentes para satisfação da sua necessidade actual. O agente Empresa AE_i, na formulação de propostas ao agente Mercado AM_k para o fornecimento de uma determinada competência, age de forma adaptativa, aprendendo com os comentários realizados por este agente Mercado às suas propostas em rondas anteriores.

Este processo será apresentado com maior detalhe na secção 7.3.2.

7.3. Implementação

A presente secção faz a exposição de alguns detalhes de implementação considerados mais relevantes para o entendimento do funcionamento do sistema. O sistema *ForEV* foi implementado em linguagem JAVA, usando a plataforma de comunicação JATLite [JATLite]. A linguagem KQML foi a linguagem de comunicação adoptada para envio de mensagens entre os diferentes agentes.

7.3.1. Plataforma de comunicação

A plataforma JATLite foi usada no sistema *ForEv* como o suporte de comunicação entre os diversos agentes. A selecção da plataforma JATLite prende-se com o facto de esta ter sido desenvolvida com o objectivo de suportar a comunicação entre agentes em ambientes distribuídos, incluindo facilidades específicas para tratamento (envio/recepção) de mensagens escritas em linguagem KQML.

O componente central da plataforma JATLite é a aplicação denominada AMR ("Agent Message Router"), sendo qualquer agente presente no sistema obrigado a aí se registar. O AMR armazena a informação relativa a todos os agentes do sistema, incluindo a sua identidade (nome e palavra-chave) e localização (máquina e porto). O AMR é a aplicação responsável por toda a gestão da comunicação do sistema distribuído, incluindo as funções de:

- Colocar em contacto os agentes que queiram comunicar entre si, enviando a cada um deles os endereços dos outros agentes.
- Reencaminhar mensagens, enviando a um agente receptor a mensagem originária de um agente emissor, quando este não conhece a localização do agente receptor.

- Reenviar mensagens, executando de uma forma periódica o envio de uma mensagem para um agente receptor que se encontra temporariamente inacessível.

A aplicação AMR, tal como está definida na plataforma JATLite, é capaz de responder às acções (mensagens) aí implementadas, que incluem: o registo de um qualquer agente, o fornecimento de informação relativa ao endereço de um outro agente ou o reencaminhamento de uma mensagem. No sistema *ForEV*, a aplicação AMR foi modificada e estendida de modo a permitir responder a questões relacionadas com o cenário agora existente, isto é, um mercado electrónico. Assim, a aplicação AMR inclui actualmente as seguintes funções adicionais:

- Registo das necessidades dos agentes Mercado.
- Registo das competências dos agentes Empresa.
- Envio, a um agente Empresa, da identificação do(s) agente(s) Mercado que declararam necessitar de uma ou múltiplas competência desse agente Empresa.

Um outro ponto que interessa aqui referir é o facto de o sistema *ForEV* possuir não uma única aplicação AMR, mas sim múltiplas. A opção de usar múltiplas aplicações AMR deve-se à consideração de dois factores:

- Do ponto de vista de implementação, evita-se sobrecarregar uma única aplicação AMR com todo o tráfego de comunicação que ocorre no sistema, que pode ser demasiado.
- Do ponto de vista de concepção, consegue-se dividir e distinguir com clareza os diferentes "negócios" que ocorram em simultâneo.

Todos os agentes Mercado e Empresa devem estar registados em uma única aplicação AMR. Mas após serem conhecidos os agentes Empresa e Mercado que estão relacionados por procura/oferta de competências, são criados locais de mercado distintos para cada uma destas relações. O agente Mercado é a entidade que determina qual a necessidade a satisfazer, e é o agente responsável pela formação de um novo local de mercado onde essa necessidade será negociada. Assim, diferentes necessidades serão negociadas em locais de mercado distintos, e cada local de mercado possui a sua própria aplicação AMR.

A formação de um novo local de mercado é realizada pelo agente Mercado, criando um agente agora denominado *agente Mercado Virtual (MercadoV)*, que inclui uma aplicação AMR (ver Figura 37).

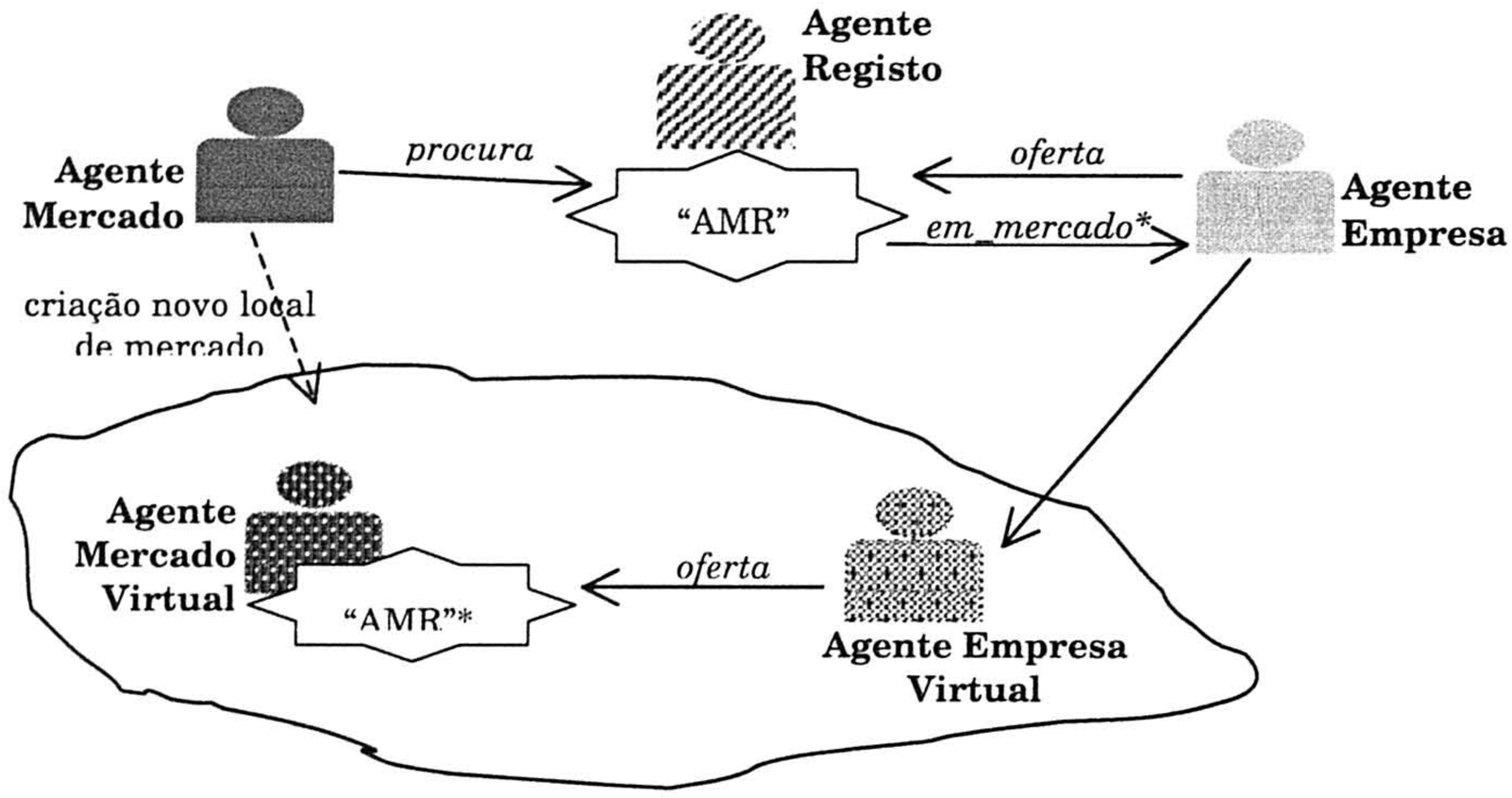


Figura 37. Criação de um novo local de mercado por parte do Agente Mercado

O agente Mercado Virtual possui, a partir deste instante, o papel de agente coordenador do novo mercado. É o agente Mercado Virtual que coordena, por exemplo, o processo de formação da Empresa Virtual, assumindo, para o efeito, o papel de organizador do processo de negociação a realizar com os agentes candidatos a membros da EV. Qualquer agente Empresa que pretende existir nesse mercado, e consequentemente, competir para membro da EV, cria, para cada uma das suas competências relevantes para o mercado, um agente denominado *agente Empresa Virtual (EmpresaV)*. São os múltiplos agentes Empresa Virtual que desempenham o papel de respondentes no processo de negociação que leva à formação da EV. Como nota, refira-se que um agente Empresa pode criar um *agente Empresa Virtual* em vários locais de mercado simultâneos.

Nesta secção, apresentamos a noção de agente MercadoV e agente EmpresaV, como instanciações dos agentes Mercado e Empresa, para participação em um processo específico de formação da EV. Ao longo deste capítulo, para uma maior legibilidade do texto, e sempre que tal não origine qualquer dúvida, referimos o agente MercadoV (EmpresaV) simplesmente por agente Mercado (Empresa).

7.3.2. O algoritmo de Negociação-Q

A formação da Empresa Virtual, isto é, a selecção de quais as empresas mais competentes no instante actual a incluir na EV, é resultado do processo de negociação proposto nesta tese (Negociação-Q) e já descrito nos capítulos 5 e 6. A negociação é conduzida pelo agente MercadoV, que possui o papel de organizador, comportando-se os agentes EmpresaV como respondentes.

Porque os termos são semelhantes, deve-se evidenciar aqui a distinção entre a notação Empresa Virtual e agente Empresa Virtual. A Empresa Virtual (EV) é uma associação de agentes Empresa Virtual com competências adequadas à satisfação de uma necessidade actual

do mercado. O agente EmpresaV é a instanciação de um agente Empresa em um local de mercado específico que compete com outros agentes EmpresaV no intuito de vir a pertencer a uma futura EV.

Quando um agente Mercado se regista no sistema *ForEV*, cria imediatamente um novo local de mercado único e específico para a sua necessidade, e um agente MercadoV que será o organizador do processo de formação da EV a ocorrer nesse novo mercado. Quando um agente Empresa se regista no sistema *ForEV*, é informado de quais os locais de mercado onde as suas competências são requeridas. Este agente Empresa cria então agentes EmpresaV (um para cada competência e/ou local de mercado), que são registados nos locais de mercado indicados.

A negociação inicia-se quando um agente EmpresaV informa o agente MercadoV da sua disponibilidade para fornecimento de determinada competência (*Compt*). O agente MercadoV envia ao agente EmpresaV o anúncio do componente que pretende obter e este indicou ser da sua competência (um dos componentes que constituem o objecto da Empresa Virtual). O anúncio especifica ainda os valores que o agente MercadoV considera admissíveis para os múltiplos atributos que compõem o componente. Este mesmo anúncio será enviado a todos os agentes EmpresaV que indiquem ter competência para fornecer tal componente.

anuncio (AMV, Cmpt, Vals)

- *AMV* é o identificador do agente mercado.
- *Cmpt* é o identificador do componente que constitui o objecto da negociação.
- *Vals* é uma lista dos valores admissíveis para os diferentes atributos. Cada elemento da lista contém a seguinte informação: $(Atb_i , Valor_i)$

  Atb_i é o identificador do atributo i, e $Valor_i$ é o valor (ou conjunto de valores) admissível para esse atributo.

O processo de negociação é composto por múltiplas rondas, sendo pré-estabelecido pelo agente MercadoV um intervalo de tempo máximo[14] para cada ronda. Uma ronda de negociação é terminada quando é atingido o tempo máximo ou todos os agentes EmpresaV, actualmente a participar na negociação, já enviaram as suas propostas.

O término da negociação pode ser especificado, pelo agente MercadoV, impondo um tempo de duração máximo ou um número de rondas limite.

Os parágrafos seguintes descrevem o processo de negociação decomposto nas suas fases principais, e o papel desempenhado por cada um dos intervenientes.

---

[14] No sistema *ForEV,* o intervalo de tempo limite para uma ronda de negociação é igual a 1% do tempo total da negociação.

Formulação de uma proposta inicial pelo agente Empresa Virtual

Um agente EmpresaV compete com os restantes agentes EmpresaV, presentes no local de mercado, para pertença à Empresa Virtual a seleccionar pelo agente MercadoV. A proposta inicial enviada por um agente EmpresaV será, obviamente, aquela que apresenta um valor de avaliação máxima para este agente: Os valores a propor para cada um dos atributos que compõem o componente em negociação são os valores que o agente designou como os de preferência mais elevada, que pertencem ao conjunto dos valores admissíveis para o agente MercadoV.

proposta (AEV, Pr, Cmpt, Vals)

- *AEV* é o identificador do agente EmpresaV.
- *Pr* é o identificador da proposta.
- *Cmpt* é o identificador do componente em negociação.
- *Vals* é uma lista dos valores propostos para os diferentes atributos. Cada elemento da lista contém a seguinte informação: $(Atb_i , Valor_i)$
  Atb_i é o identificador do atributo i, e $Valor_i$ é o valor proposto para esse atributo.

Formulação de um comentário pelo agente Mercado Virtual

No término de uma ronda de negociação, o agente MercadoV envia aos agentes EmpresaV participantes nessa ronda, um comentário às suas propostas. O comentário a realizar sobre uma proposta P_i implica o seguinte procedimento:

- Determinação da melhor proposta recebida até ao momento (P_m). Esta é a proposta que apresenta o valor de avaliação mais elevado para o agente MercadoV. A fórmula para cálculo do valor de avaliação de uma proposta foi já apresentada na secção 5.4.5, e é a seguir reproduzida:

$$Aval = \frac{1}{Desvio}, \qquad Desvio = \frac{1}{\sum_{i=1}^{k} i} * \sum_{i=1}^{k} (k-i+1) * dif(PrefV_i, V_i)$$

- Comparação da proposta P_i com a proposta P_m. A comparação é realizada sobre cada um dos múltiplos atributos que compõem o componente, e o resultado é um comentário com a informação relativa à aceitabilidade dos valores propostos para esse atributo. Este comentário é composto por dois itens de informação: o grau de satisfação e a direcção do desvio.

  - Grau de satisfação *(Gsat)*
    É um valor qualitativo pertencente ao conjunto {*suficiente*, *mau*, *medíocre*}, conforme o valor do atributo na proposta P_i se aproxima, está distante ou muito distante do valor desse mesmo atributo na proposta P_m. Esta informação, uma

originalidade do nosso modelo de negociação, tem uma implicação importante na reformulação de propostas.

$Gsat \in \{suficiente, mau, mediocre\}$

- Direcção do desvio *(Ddesv)*

  Pode assumir um valor no conjunto {*elevado*, *reduzido, ok*}, conforme o valor do atributo na proposta P_i é inferior, superior ou igual ao valor que o agente MercadoV considera óptimo para esse atributo.

  $Ddesv \in \{elevado, reduzido, ok\}$

O comentário a realizar, no final de cada ronda de negociação, às propostas enviadas pelos agentes EmpresaV, é então um conjunto de comentários individuais aos valores de cada um dos atributos que compõem a proposta.

comentario (Pr, Classifs)

- *Pr* é o identificador da proposta.
- *Classifs* é uma lista das classificações dos valores propostos nos diferentes atributos. Cada elemento desta lista contém a seguinte informação: $(Atb_i , Classif_i)$
  - Atb_i é o identificador do atributo i,
  - $Classif_i$ é a classificação do valor proposto para i, $Classif_i = <Gsat_i, Ddesv_i>$

Formulação de uma nova proposta pelo agente Empresa Virtual

O agente EmpresaV, após receber o comentário à sua proposta, formula uma nova proposta a enviar ao agente MercadoV. Esta nova proposta reflecte o **comportamento adaptativo** deste agente, que aprende com os comentários efectuados às suas propostas anteriores. No sistema *ForEV*, o processo de aprendizagem de um agente EmpresaV é uma aprendizagem por reforço, que se baseia no algoritmo de aprendizagem-Q. O comportamento adaptativo de um agente é um factor importante neste cenário, visto que o agente se encontra em um ambiente desconhecido e dinâmico. O ambiente é caracterizado pelo conjunto de agentes EmpresaV existentes no sistema, associado ao grau de competência e disponibilidade desses agentes, na satisfação da necessidade requerida actualmente. O ambiente é desconhecido porque um agente não conhece as preferências e valores admissíveis para os outros agentes do sistema (esta informação é privada a cada agente), logo não consegue adivinhar o seu comportamento. O ambiente é dinâmico, porque em qualquer altura da negociação, um agente pode desistir ou novos agentes podem surgir no mercado.

O algoritmo de aprendizagem-Q atribui valores de avaliação a pares estado/acção.

- No cenário considerado, um *estado(e)* é definido pelo grau de satisfação dos valores dos vários atributos, de acordo com o comentário enviado pelo agente MercadoV.

  $e = \langle Classif_1, Classif_2, \ldots, Classif_k \rangle$,

  $Classif_i \in \{suficiente, mau, mediocre\}, \quad k = número\ de\ atributos$

- Uma *acção (a)* é definida pelo conjunto das acções possíveis de realizar sobre o valor de cada um dos atributos (manutenção, incremento, decremento).

$$a = \langle A_1 , A_2 , \ldots , A_k \rangle \quad ,$$
$$A_i \in \{manutenção, incremento, decremento\}, \quad k = número\ de\ atributos$$

A selecção de qual acção realizar em um determinado estado é determinada pelo algoritmo aprendizagem-Q, utilizando a distribuição de Boltzmann (secções 6.3 e 6.4). Nesta selecção, para o caso da negociação entre agentes, o espaço de exploração considerado não contém todas as acções possíveis, mas é limitado às acções consideradas promissoras. Assim ultrapassamos um dos problemas inerentes à aprendizagem por reforço que requer a actualização de muitos estados.

Após a selecção de uma acção, os novos valores de um atributo i são calculados de acordo com o seguinte procedimento:

- Cálculo do domínio de valores passíveis de selecção (dom_{si}), de acordo com a fórmula:

$$\begin{aligned} dom_{si} &= delta_{ni} * dom_i \\ delta_{ni} &= \frac{delta_{ni-1} * (ni-1) + delta_{ni-1} * fr}{ni} \end{aligned} \qquad (12)$$

sendo:

- dom o domínio dos valores admissíveis do atributo i
- ni o número de relaxações já efectuadas para o atributo i
- fr um valor rectificativo que é igual a 1.2 se a classificação do atributo é igual a *medíocre*, é igual a 1.1 se a classificação do atributo é igual a *mau*, e é igual a 0.9 se a classificação do atributo é igual a *suficiente*

Considerando os valores do domínio do atributo ordenados por preferência, dom_{si} representa o desvio máximo relativamente ao valor de maior preferência que o agente está disposto a ceder. Todos os valores cujo desvio do valor de maior preferência é menor ou igual a dom_{si}, são possíveis de ser seleccionados.

- Cálculo do novo valor

O novo valor a propor para o atributo i é o maior valor (se acção é igual a *incremento*) ou menor valor (se acção é igual a *decremento*), que se encontra no domínio dom_{si}.

$$Val_i = \begin{cases} \max(V_i), & \forall V_i \in dom_{si}, \quad se\ acção = incremento \\ \min(V_i), & \forall V_i \in dom_{si}, \quad se\ acção = decremento \end{cases}$$

Os valores calculados pelo procedimento anterior, para todos os atributos, constituem a proposta a enviar em uma nova ronda de negociação.

7.3.3. Problema de Satisfação de Dependências Distribuídas

Uma Empresa Virtual é composta por um conjunto de empresas independentes, que participam nesta associação com as suas competências. É possível que componentes que são competência de uma empresa imponham restrições a componentes que são competência de outra empresa. Como exemplo ilustrativo, refere-se o contexto da indústria têxtil. No fabrico de uma peça de vestuário, duas empresas distintas A e B pertencem à EV, na qual colaboram com competências relativas ao fornecimento dos componentes "tecido" e "botão". Se a empresa A fornece o tecido de cor *vermelha*, tal facto coloca uma restrição na cor do botão fornecido pela empresa B, que deverá ser *vermelho* ou *preto*. É este tipo de dependência (dependência de valores) que o sistema *ForEV* implementa.

Durante o processo de negociação, e quando do envio de uma proposta ao agente Mercado, o agente Empresa enumera as dependências existentes entre alguns valores do atributos propostos, e valores de atributos de outras competências. Na fase final do processo de negociação, e após ter seleccionado as empresas a incluir na EV, o agente Mercado detecta possíveis dependências não satisfeitas, e informa os agentes Empresa respectivos. Estes agentes Empresa iniciam, entre si, um processo de resolução das dependências mútuas (ver Figura 38).

O processo de resolução do problema de satisfação de dependências distribuídas (PSDD) proposto nesta tese, foi já discutido no capítulo 6. Nos parágrafos seguintes, complementa-se essa discussão apresentando este mesmo processo de um ponto de vista de implementação, ilustrando o mecanismo de resolução de dependências quando o número de agentes com competências dependentes é superior a dois, e cada uma das dependências só é conhecida pelos agentes respectivos.

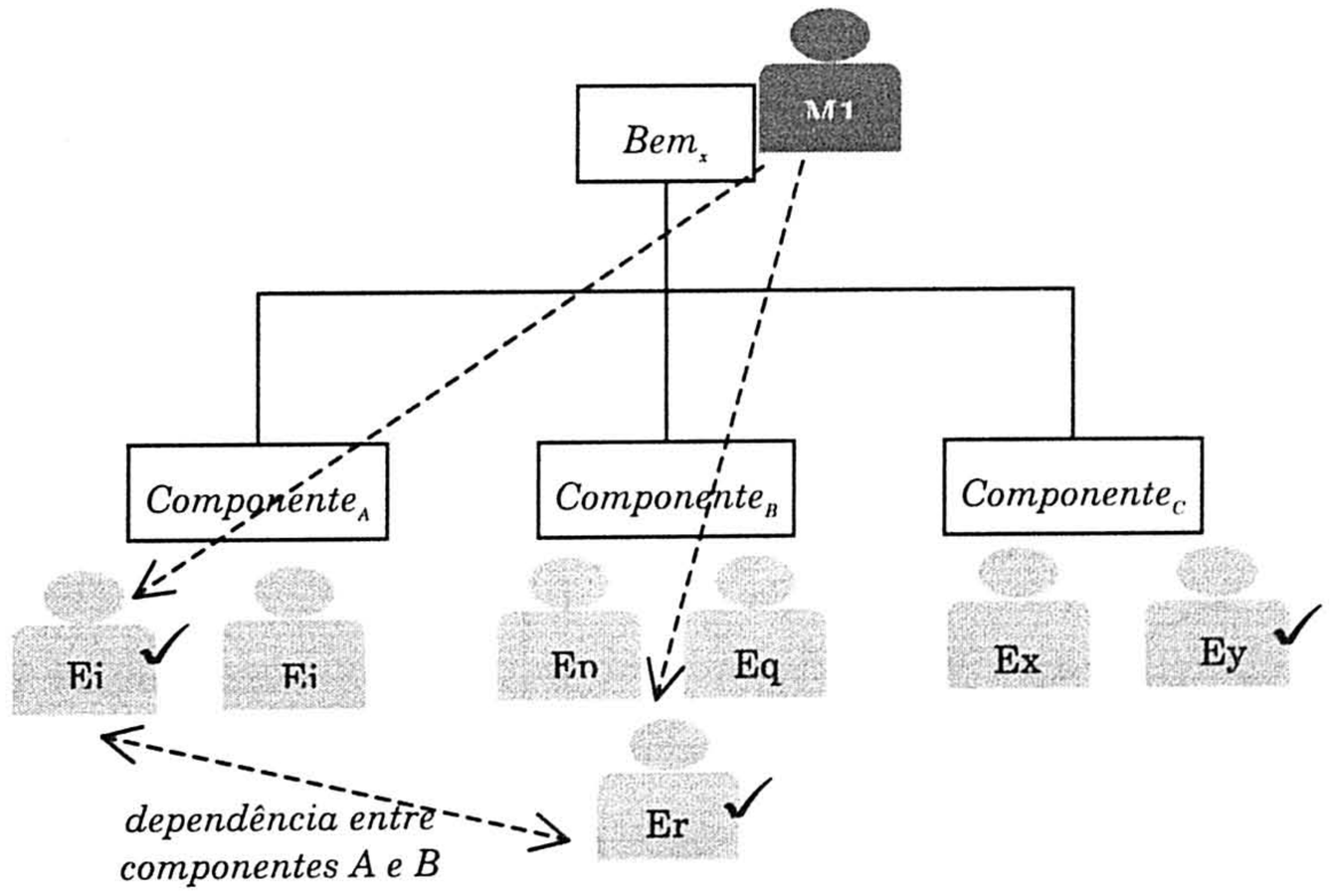


Figura 38. Detecção dependências distribuídas entre agentes Empresa

O algoritmo de resolução do PSDD baseia-se em uma troca sucessiva de propostas, por parte dos agentes fornecedores de competências com atributos dependentes, onde estes vão relaxando os seus valores. Uma proposta inclui, além do novo valor escolhido para o atributo, o valor da ***diminuição da utilidade (du)*** que essa nova proposta apresenta. A proposta final adoptada pelo conjunto de agentes que possuem competências dependentes é a proposta que minimiza o valor da ***diminuição da utilidade total (dut)*** (soma dos valores da diminuição da utilidade para cada um dos agentes envolvidos). Convém referir que o valor da diminuição da utilidade de uma proposta P_i reflecte o decréscimo da utilidade por disponibilização da competência segundo os critérios definidos na proposta P_i em detrimento daqueles inicialmente aceites pelo agente Mercado.

A utilização do conceito de valor da diminuição da utilidade, possibilita a determinação das propostas que minimizam a soma das perdas dos agentes envolvidos, sem que cada um deles exponha aos outros o valor real da sua perda (para manter o seu poder de competição no mercado, as empresas não revelam a sua informação privada). A figura seguinte (Figura 39) ilustra o processo de resolução de PSDD envolvendo quatro agentes distintos.

O agente Mercado pretende ver satisfeita a necessidade X, composta pelas competências A, B, C e D, pelo que inicia um processo de negociação para formação de uma EV que satisfaça tal necessidade. Os agentes seleccionados para membros da EV são os agentes Empresa AE_A, AE_B, AE_C e AE_D (para fornecimento das competências A, B, C e D, respectivamente). O agente Mercado detecta a existência de incompatibilidade de valores entre as propostas relativas ao fornecimento das competências A e B e C, e envia uma mensagem a um dos agentes envolvidos, por exemplo, o agente Empresa AE_A.

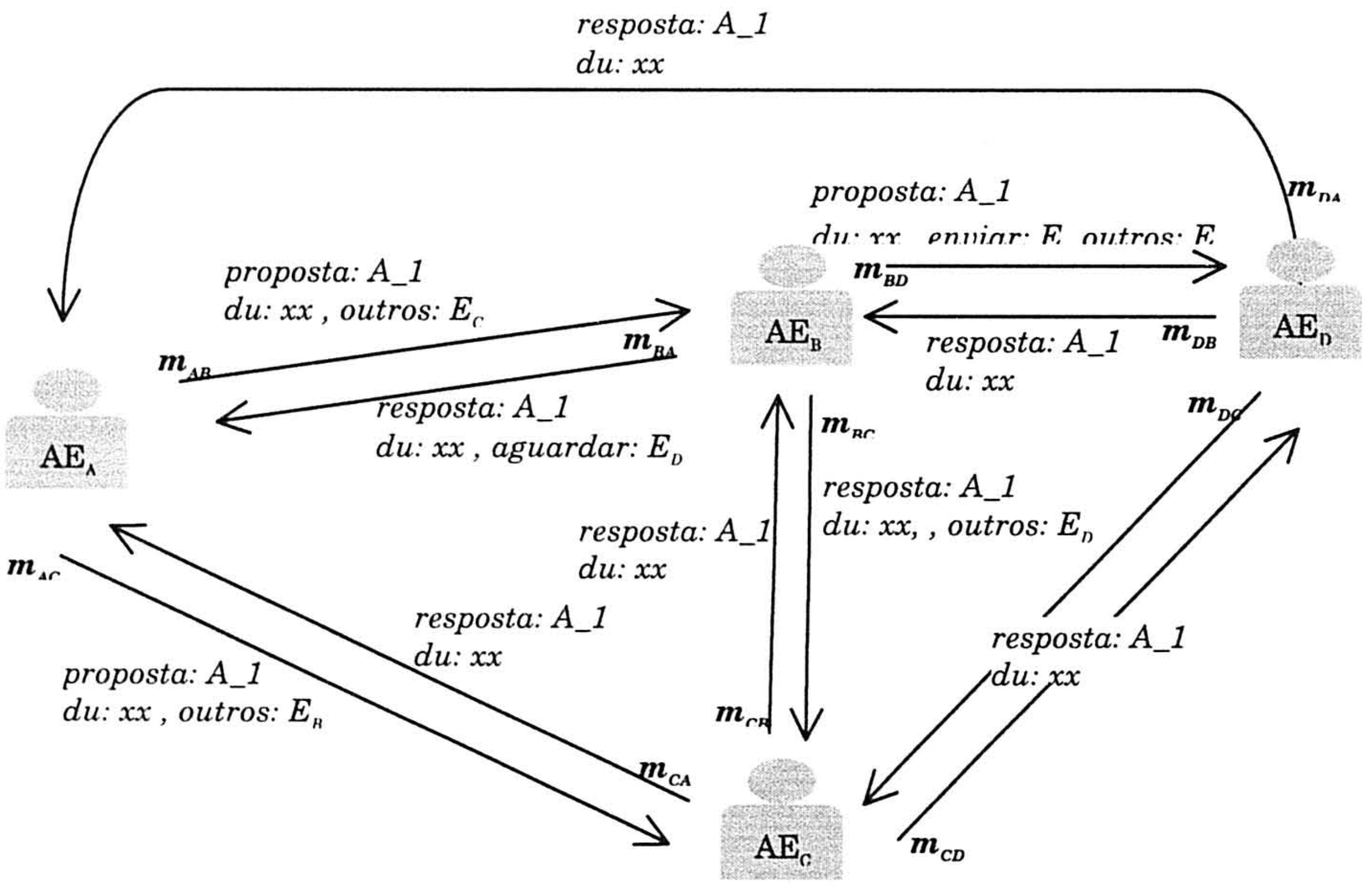


Figura 39. Resolução de PSDD envolvendo quatro agentes

mensagem	***tempo***	***descrição***
m_{AB}, m_{AC}	1	proposta enviada a agentes com dependências destes, com indicação valor *du* e quais outros agentes envolvidos
m_{BA}	2	resposta a uma proposta, com indicação do valor *du* local, e aviso para aguardar idêntica informação de um novo agente envolvido
m_{CA}	2	resposta a uma proposta, com indicação do valor *du*
m_{BC}	2	indicação do valor *du* local, e aviso de existência de um novo agente envolvido (necessário enviar e aguardar valores *du* respectivos)
m_{CB}	2	indicação do valor *du*
m_{BD}	2	proposta enviada a um terceiro agente, quando detectadas dependências da proposta actualmente em discussão
m_{DB}, m_{DC}, $m_{CD,}$, m_{DA}	3	indicação do valor *du*

Tabela 9. Descrição das mensagens trocadas no processo de resolução de PSDD

O agente AE_A inicia então o seguinte processo de resolução de PSDD:

- Formulação e envio de uma proposta

  O agente AE_A questiona os agentes com competências dependentes da sua proposta (AE_B e AE_C) sobre a diminuição da utilidade que esta sua proposta possui para eles (mensagens $\boldsymbol{m}_{AB}$ e $\boldsymbol{m}_{AC}$). Como os agentes envolvidos no processo de resolução do PSDD seleccionam como proposta final a que apresenta o menor valor da diminuição total da utilidade, este valor total tem de ser conhecido por todos os agentes. Quando a agente AE_A envia a sua proposta *A_1* a um agente que possui competências dependentes dele (por exemplo, o agente AE_B), indica também quais outros agentes estão envolvidos no processo de resolução do PSDD (agente AE_C) – esta informação está inscrita no campo *"outros"* da mensagem.

- Resposta a uma proposta

  Os agentes questionados sobre o valor da diminuição da utilidade que a nova proposta representa para si (agente AE_B *e* AE_C), enviam essa informação, quer ao agente emissor (AE_A), quer também aos que conhecem agora estar envolvidos no processo de resolução do PSDD (agente AE_C e AE_B, respectivamente). Notar na figura as mensagens $\boldsymbol{m}_{BA}$ e $\boldsymbol{m}_{BC}$ enviadas pelo agente AE_B, e as mensagens $\boldsymbol{m}_{CA}$ e $\boldsymbol{m}_{CB}$ enviadas pelo agente AE_C.

  Para o cálculo correcto do valor da diminuição total da utilidade de uma proposta, os agentes receptores dessa proposta (agente AE_B *e* AE_C), devem aguardar o envio de informação dos outros agentes que sabem estar envolvidos no processo. Este procedimento permite que uma proposta P_i sendo emitida por um qualquer agente, seja apresentada a todos os outros agentes que possuam competências (directas ou indirectas) dependentes dos valores presentes na proposta P_i.

- Formulação e envio de uma contra-proposta

  Os agentes questionados anteriormente pelo agente AE_A (agentes AE_B e AE_C) apresentam agora ao sistema as suas contra-propostas, e o processo repete-se (esta situação não é apresentada na figura). Em cada nova proposta, o agente Empresa relaxa os valores em discussão (valores com dependências). O processo termina quando nenhum agente consegue realizar uma nova proposta, cujo valor de diminuição da utilidade local seja inferior ao valor da diminuição da utilidade total de uma proposta realizada anteriormente. Esta será a proposta final a enviar ao agente Mercado.

- Detecção de dependências durante o processo de resolução de PSDD

  A figura anterior ilustra também a ocorrência da situação onde novas dependências são detectadas durante o processo de resolução de PSDD. Quando o agente AE_B é questionado sobre o valor da diminuição da utilidade que a proposta *A_1* possui para si (mensagem m_{AB}), detecta que os valores da sua competência *B* que obedecem a essa proposta, são dependentes de valores a apresentar pela competência *D*.

  O agente AE_B envia a proposta *A_1* em discussão ao agente AE_D (mensagem $\boldsymbol{m_{BD}}$), que entra agora no processo de resolução de PSDD.O agente AE_B pede ao agente AE_D o valor da diminuição da utilidade que a proposta *A_1* possui para si, indicando-lhe os valores que já conhece (do agente AE_A e seu), e também quais outros agentes estão envolvidos (campo *"outros"* da mensagem). O agente AE_D deve enviar o valor da diminuição da utilidade que a proposta *A_1* possui para si, para os seguintes agentes:

  - Emissor da proposta e detector desta nova dependência (AE_B) (mensagem $\boldsymbol{m_{DB}}$).
  - Gerador da proposta (AE_A) (mensagem $\boldsymbol{m_{DA}}$). A identificação do agente gerador da proposta está contida no campo *"enviar"* da mensagem $\boldsymbol{m_{BD}}$ recebida pelo agente AE_D.
  - Outros envolvidos no processo de resolução de PSDD (AE_C) (mensagem $\boldsymbol{m_{DC}}$). A identificação dos outros agentes envolvidos no processo de resolução de PSDD está contida no campo *"outros"* da mensagem $\boldsymbol{m_{BD}}$ recebida pelo agente AE_D.

Cada proposta enviada inclui a seguinte informação:

proposta_dependencia (AEV, Pr, Cmpt, Vals, du, Info)

- *AEV* é o identificador do agente EmpresaV emissor da proposta
- *Pr* é o identificador da proposta.
- *Cmpt* é o identificador da competência do agente receptor da mensagem, que é dependente de competências do agente emissor.
- *Vals* é uma lista dos valores propostos para os diferentes atributos de *Cmpt*. Cada elemento da lista contém a seguinte informação: $(Atb_i, Valor_i)$

Atb_i é o identificador do atributo i, e $Valor_i$ é o valor proposto para esse atributo.

- *du* representa o valor da diminuição da utilidade que a proposta possui para o agente emissor.
- *Info* representa informação relativa ao envio/recepção de valores referentes à diminuição da utilidade da proposta. O valor deste campo pode assumir valores no conjunto *{outros, enviar, aguardar}*.

  - *outros*: inclui a lista dos agentes aos quais deve enviar o valor da diminuição da utilidade que a proposta representa para si; e dos quais deve aguardar informação idêntica.

  - *enviar*: inclui a lista dos agentes aos quais deve enviar o valor da diminuição da utilidade que a proposta representa para si.

  - *aguardar*: inclui a lista dos agentes dos quais deve aguardar informação referente ao valor da diminuição da utilidade da proposta.

Em conclusão, refere-se que o processo de resolução de PSDD aqui discutido resolve as dependências detectadas entre competências de empresas distintas, seleccionando a proposta de menor valor de diminuição da utilidade total. Um aspecto importante a realçar no algoritmo proposto é o facto de ser **assegurada a privacidade da informação das empresas envolvidas** na resolução das dependências distribuídas.

7.4. Resultados experimentais

Nesta secção, apresentam-se alguns exemplos simples de funcionamento do sistema *ForEV*, procurando assim ilustrar as ideias adoptadas na metodologia proposta nesta tese.

O domínio de aplicação escolhido para validação do sistema *ForEV* incide em um sub-domínio da indústria têxtil, relativo à confecção de vestuário. O cenário considerado nos exemplos a seguir apresentados encontra-se bastante simplificado, sendo notória a necessidade de alguma sofisticação na consideração de um caso real. Esta sofisticação incide essencialmente no desenvolvimento de uma ontologia adequado do domínio.

No cenário aqui apresentado, considera-se que a necessidade a satisfazer diz respeito ao bem ***casaco***. De acordo com a ontologia desenvolvida, o bem ***casaco*** é decomposto em três componentes: ***tecido***, ***botão*** e ***máquina_costura***. Existem assim três tipos distintos de agentes Empresa: o agente ***tecido***, cuja competência é o fabrico de tecido; o agente ***botão***, cuja competência é o fabrico de botões; e o agente ***máquina_costura*** cuja competência é a disponibilização deste tipo de equipamento. O agente Mercado é o agente que demonstra a necessidade de obtenção do bem ***casaco***.

7.4.1. A aprendizagem na negociação

Nesta secção é efectuada uma análise do comportamento de agentes Empresa adaptativos e agentes Empresa não adaptativos, procurando avaliar o seu desempenho no processo de negociação que conduz à formação da EV.

Cenário 1

Um primeiro cenário incide sobre a negociação da competência ***tecido***. O sistema contém um agente Mercado e três agentes Empresa. O agente Mercado (***AM***) manifesta a necessidade de obtenção do bem ***casaco*** (a competência ***tecido*** é um dos componentes deste bem). Os agentes Empresa AE_1, AE_2 e AE_{2_NA} são fornecedores da competência tecido, sendo dois deles adaptativos (AE_1 e AE_2)e um não adaptativo (AE_{2_NA}).

Na ontologia construída, considera-se o componente tecido descrito pelos atributos preço, quantidade, tempo_entrega, cor e categoria.

tecido = {preço, quantidade, tempo_entrega, cor, categoria}

O agente Mercado coloca os seguintes requisitos para a competência ***tecido*** (Tabela 10):

Atributo	*Domínio*	*Preferências*
preço	0→4000	0→4000
quantidade	1000→2500	1000→2500
tempo_entrega	0→45	0→45
cor	vermelho, preto, azul, amarelo, cinzento	preto, vermelho
categoria	algodão, poliester, linho, seda, nylon	linho, algodão

Tabela 10. Requisitos do agente Mercado para o componente tecido

A tabela seguinte (Tabela 11) apresenta os valores que os agentes Empresa AE_1, AE_2 e AE_{2_NA} possuem para o fornecimento da competência ***tecido***.

	AE_1		AE_2, AE_{2_NA}	
Atributo	*Domínio*	*Preferências*	*Domínio*	*Preferências*
preço	3800→100	3800→100	9000→1200	9000→1200
quantidade	7500→1500	7500→4999 2500→1500 5000→2499	7000→500	7000→500
tempo_entrega	15→120	15→120	90→7	90→7
cor	vermelho, preto, verde, azul, cinzento	preto, azul, vermelho	vermelho, preto, azul, verde, cinzento	preto, azul, vermelho
categoria	nylon, algodão, poliester	nylon, algodão	nylon, algodão, poliester	nylon, algodão

Tabela 11. Competência dos agentes Empresa AE_1, AE_2, AE_{2_NA}

Os agentes ***AE1*** e ***AE2*** são agentes adaptativos, e como tal, em cada nova ronda de negociação, calculam quais os atributos a relaxar, e quais os respectivos valores de relaxação de acordo com a situação actual do mercado. Estes agentes implementam o algoritmo de Negociação-Q já descrito, com os seguintes parâmetros:

$$\alpha = \frac{\alpha_{ini}}{1+\beta * n} \quad , \alpha_{ini} = 0.9 \quad , \beta = 0.05 \quad ; \qquad t = t - 0.9^{n} \quad , t_{ini} = 12 \; , \; \gamma = 0.6$$

O agente ***AE2_NA*** é um agente não adaptativo, que possui competências semelhantes ao agente ***AE2***. Este agente relaxa, em cada nova ronda de negociação, os valores dos atributos mal classificados ($Ddesv \neq ok$) usando um factor igual a 0.01.

A figura seguinte (Figura 40) ilustra o comportamento dos agentes Empresa durante o processo de negociação, e apresenta a avaliação que o agente Mercado realiza sobre as propostas recebidas dos vários agentes Empresa.

O agente Empresa ***AE1*** está representado a cor azul, o agente ***AE2*** a cor vermelha, e o agente ***AE2_NA*** a cor verde

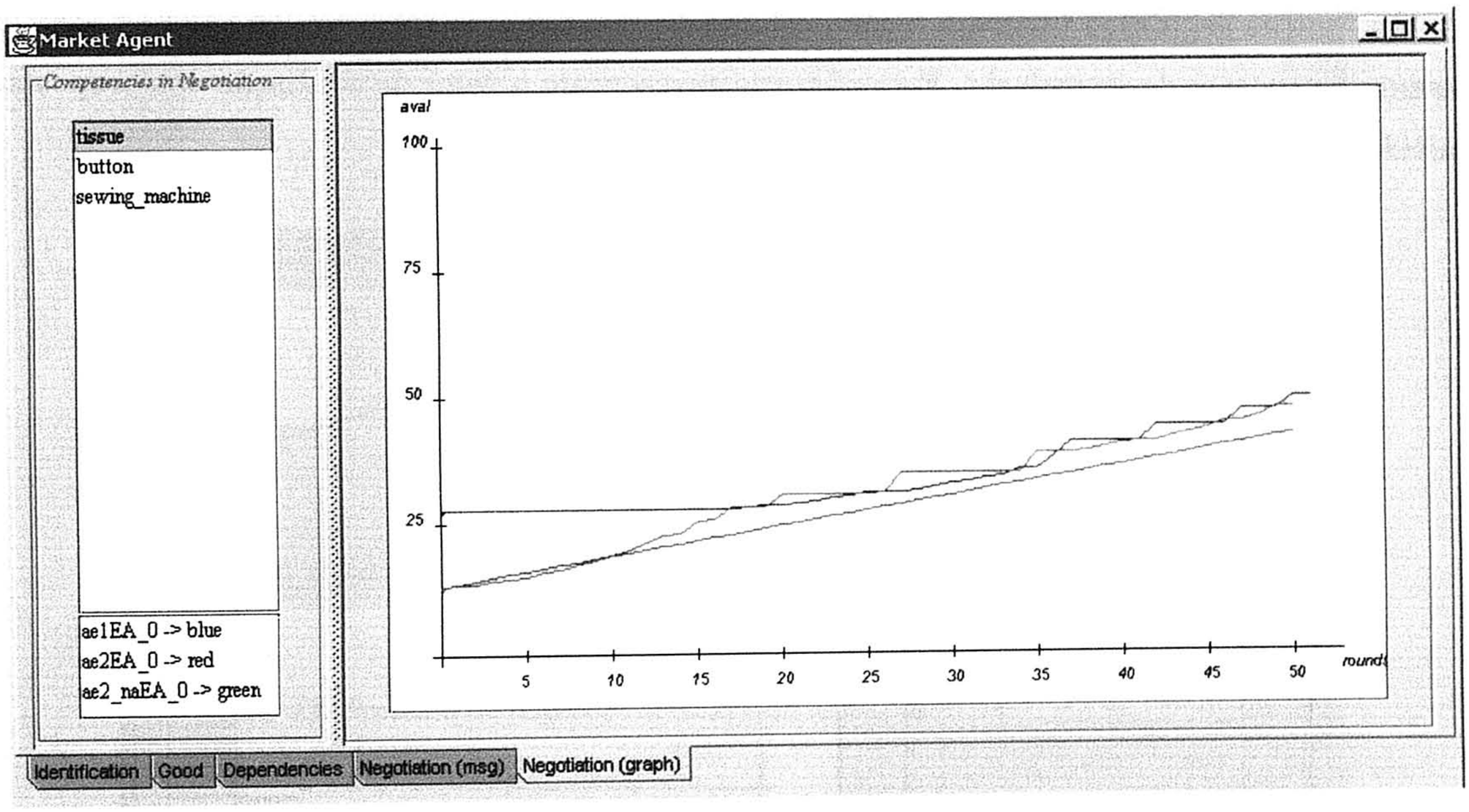


Figura 40. Negociação envolvendo três agentes (dois adaptativos e um não adaptativo)

A duração da negociação foi limitado a *50* rondas. O valor da avaliação de uma proposta é apresentado no gráfico em uma escala que varia entre os valores 0 (proposta fraca) e 100 (proposta óptima).

O agente ***AE2_NA***, porque é um agente não adaptativo apresenta ao agente Mercado sempre o mesmo valor de relaxação dos seus atributos. Este facto é ilustrado na curva representada a cor verde na figura anterior.

Os agentes Empresa ***AE1*** e ***AE2*** são agentes adaptativos, que apresentam valores de relaxação variáveis com o tempo para os seus atributos, o que explica a não linearidade das curvas apresentadas na figura. Recorda-se que estas curvas são representativas da avaliação que o agente Mercado faz das propostas emitidas pelos agentes Empresa. A ocorrência de zonas de patamares nestas curvas, significam que o agente Empresa respectivo não alterou a sua proposta relativamente à ronda de negociação anterior. Quando um agente Empresa é o vencedor actual da negociação, não possui nenhum incentivo para relaxar os seus valores, mantendo a sua proposta anterior. O agente Empresa só altera a sua proposta, quando um outro agente Empresa apresenta ao agente Mercado uma proposta mais favorável, o que origina que o primeiro agente deixe de ser o vencedor.

A proposta vencedora da negociação apresenta, para o agente Mercado, um grau de satisfação de 50.01%. Esta proposta foi emitida pelo agente ***AE1***, e apresenta os seguintes valores para os atributos:

*preço=**2896.045**, quantidade=**1704**, tempo_entrega=**15**, cor=preto, categoria=nylon*

As figuras seguintes ilustram o comportamento dos agentes empresa ***AE1***, ***AE2*** e ***AE2_NA*** durante o processo de negociação. Estas figuras apresentam o valor de avaliação das propostas emitidas pelos agentes Empresa, do ponto de vista destes.

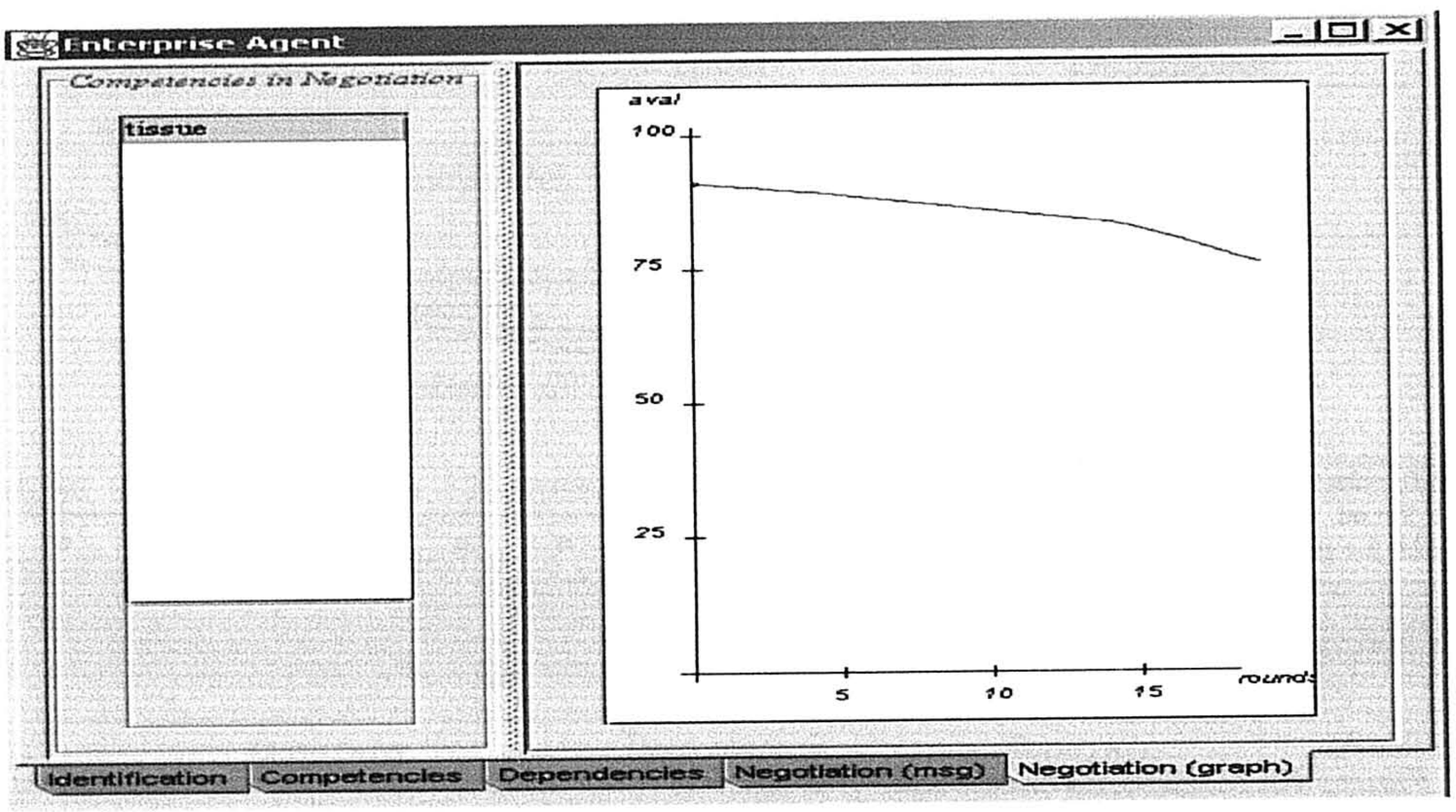


Figura 41. Processo de negociação visto pelo agente Empresa AE1 (cenário 1)

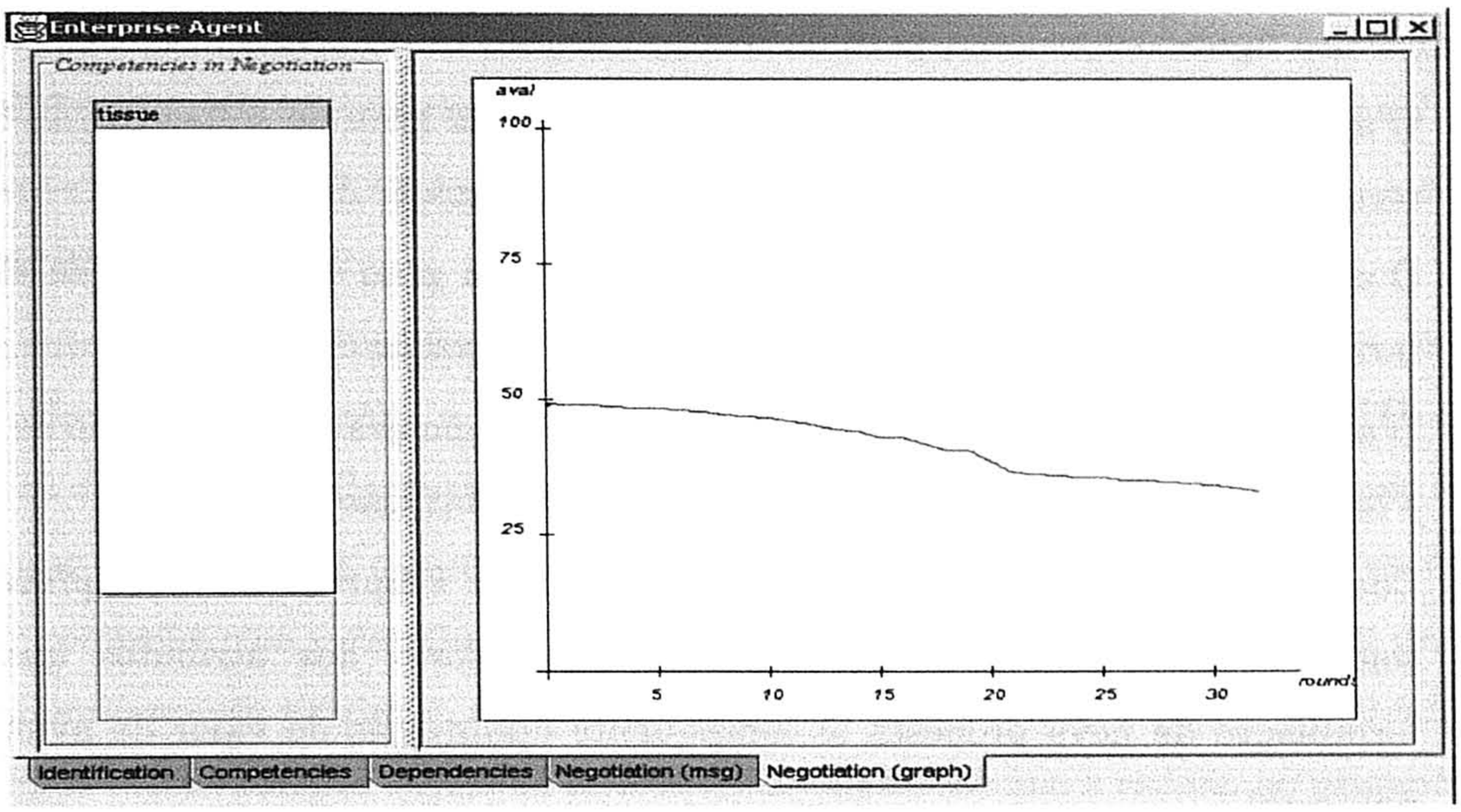


Figura 42. Processo de negociação visto pelo agente Empresa AE_2 (cenário 1)

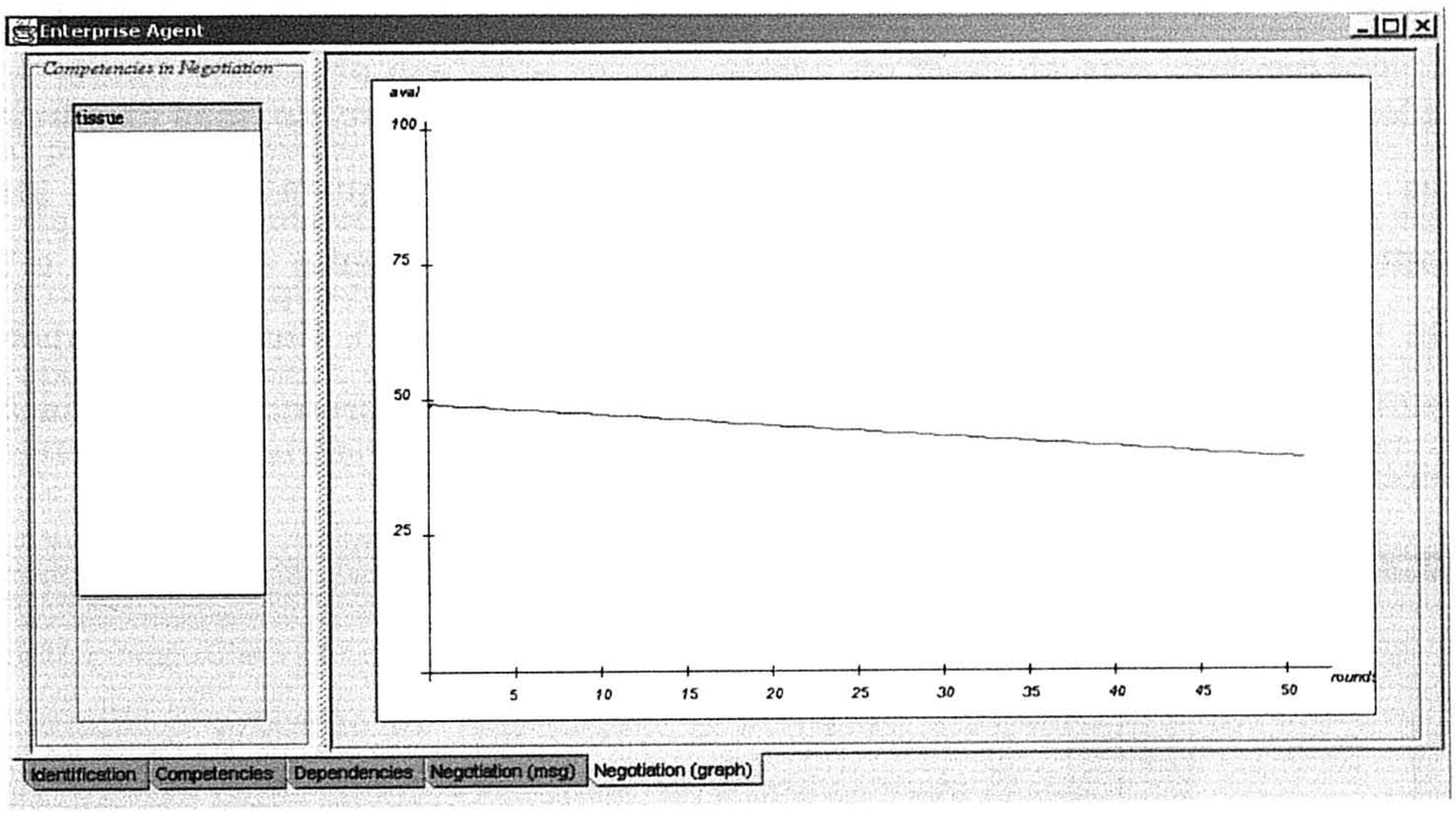


Figura 43. Processo de negociação visto pelo agente Empresa AE_{2_NA} (cenário 1)

As curvas das figuras anteriores (Figura 41, Figura 42 e Figura 43) apresentam no eixo das abcissas, não o número de rondas efectivas da negociação, mas sim o número de rondas em que o agente Empresa formula uma nova proposta. Isto é, o número de rondas de negociação em que o agente Empresa não é o vencedor actual.

Um agente Empresa, enquanto vencedor actual da negociação, não recebe qualquer informação sobre como esta se está a desenrolar. Só quando a sua proposta deixa de ser a melhor proposta, do ponto de vista do agente Mercado, é que é comunicado ao agente Empresa a situação actual do mercado, para que este, caso pretenda, possa efectuar uma nova proposta. Por tal motivo, apenas estes pontos são considerados para cálculo do número de rondas de negociação, do ponto de vista do agente Empresa.

A análise das figuras anteriores, permite retirar a seguinte informação:

- O agente Empresa ***AE1*** inicia a negociação com um grau de satisfação de 91.1%, e termina com um grau de satisfação de 75.89% (relaxação de 15.21%).
- O agente Empresa ***AE2*** inicia a negociação com um grau de satisfação de 49.32%, e termina com um grau de satisfação de 33.22% (relaxação de 16.1%).
- O agente Empresa ***AE2_NA*** inicia a negociação com um grau de satisfação de 49.32%, e termina com um grau de satisfação de 39.04% (relaxação de 10.28%).
- Contrariamente aos agentes adaptativos, o agente Empresa ***AE2_NA*** apresenta um comportamento constante na relaxação dos valores dos atributos quando da formulação de nova proposta (e consequente diminuição do valor de avaliação da proposta).

Recorda-se que o agente ***AE1*** foi o agente vencedor da negociação.

Cenário 2

Considera-se agora a negociação sobre o mesmo componente ***tecido***, mas existindo apenas os agentes ***AE2*** e ***AE2_NA***. Os agentes ***AE2*** e ***AE2_NA*** são equivalentes em termos de fornecimento da competência tecido, sendo o agente ***AE2*** um agente adaptativo e o agente ***AE2_NA*** um agente não adaptativo. A figura seguinte (Figura 44), ilustra o comportamento destes agentes Empresa durante o processo de negociação, e apresenta a avaliação que o agente Mercado realiza sobre as propostas recebidas destes agentes.

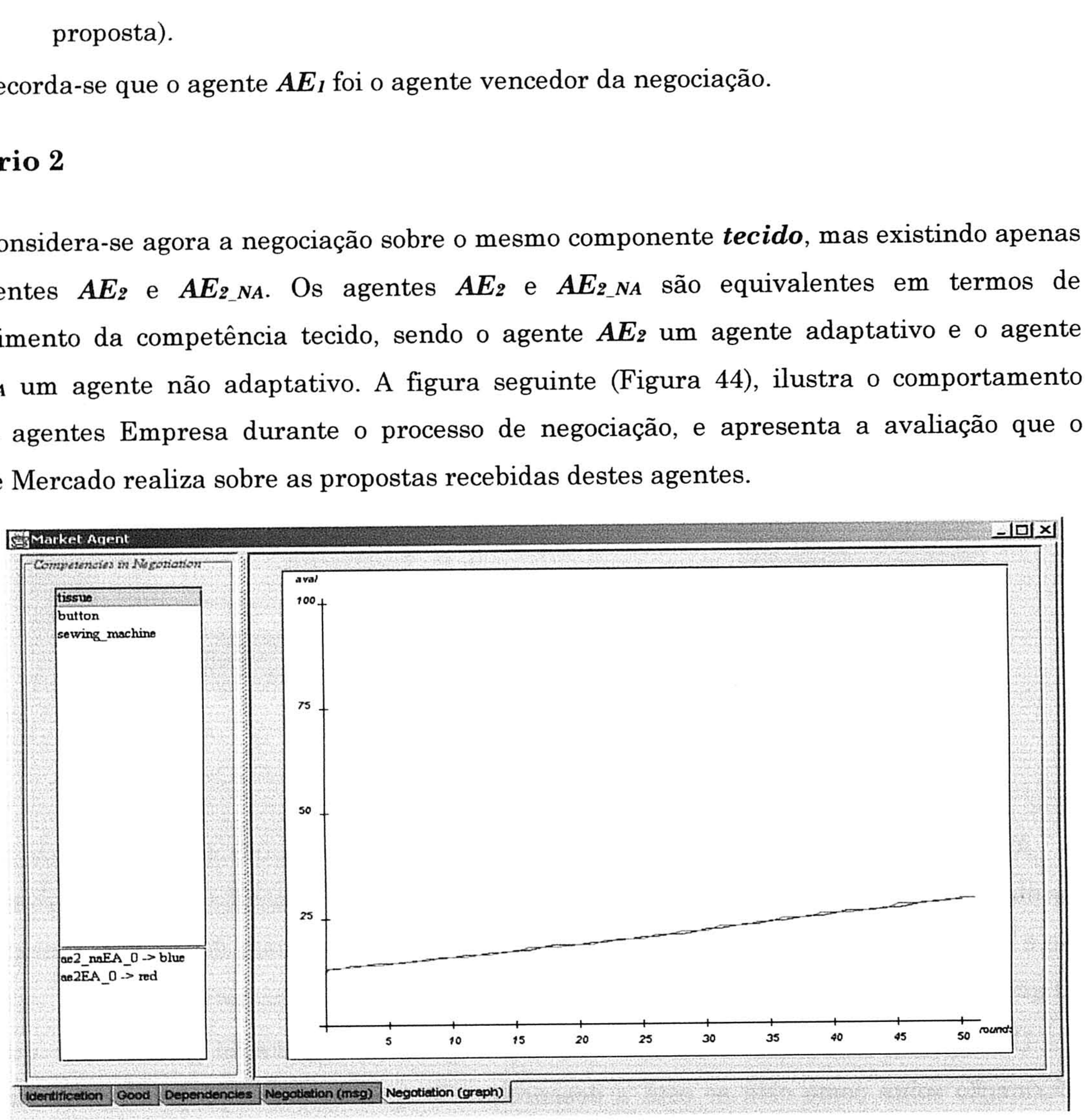


Figura 44. Negociação envolvendo um agente adaptativo e um não adaptativo[15]

[15] O facto de não alterarmos a escala da figura realça que, embora ganhando a negociação, o agente ***AE2*** se adaptou o mínimo possível para garantir o sucesso.

A duração da negociação foi limitado a *50* rondas, tal como no cenário anterior. Na figura, o agente Empresa AE_2 está representado a cor vermelha, e o agente AE_{2_NA} a cor azul.

Relativamente ao cenário 1, o agente Mercado satisfaz a sua necessidade com um menor grau de satisfação (29.17%).

O agente AE_2 não necessita relaxar os seus valores com a mesma amplitude que no caso anterior. No cenário anterior, a existência do agente AE_1 obrigava o agente AE_2 a relaxar bastante os seus valores. Porque o agente AE_1 apresentava valores mais favoráveis ao agente Mercado que o agente AE_2, este último era obrigado a relaxar mais os seus valores, de modo a conseguir competir com o agente AE_1. Neste segundo cenário, o agente AE_2 tem de competir com um agente menos exigente. Assim, demonstra-se a capacidade adaptativa do agente AE_2, que consegue efectivamente captar as alterações ao ambiente que o rodeia, no primeiro cenário "seguindo" o agente AE_1, e neste segundo cenário "seguindo" o agente E_{2_NA}.

O comportamento do agente não adaptativo AE_{2_NA}, como seria de esperar, não se altera significativamente em relação ao apresentado no primeiro cenário. A diferença mínima que se regista na menor relaxação dos seus valores deriva do facto de que, contrariamente ao que sucede no primeiro cenário, neste segundo cenário, em alguns instantes o agente AE_{2_NA} é o vencedor da ronda de negociação actual. Recorda-se que nos instantes em que um agente está a vencer a negociação, não relaxa os seus valores, pois não tem incentivo para tal.

A proposta vencedora da negociação apresenta um grau de satisfação de 29.17% para o agente Mercado. Esta proposta foi emitida pelo agente AE_2, e apresenta os seguintes valores:

preço=3330.25, quantidade=1923, tempo_entrega=45, cor=preto, categoria=nylon

A figura seguinte (Figura 45) apresenta o comportamento dos agentes empresa AE_2 e AE_{2_NA} durante o processo de negociação. Esta figura apresenta o valor de avaliação das propostas emitidas pelos agentes Empresa, do ponto de vista destes.

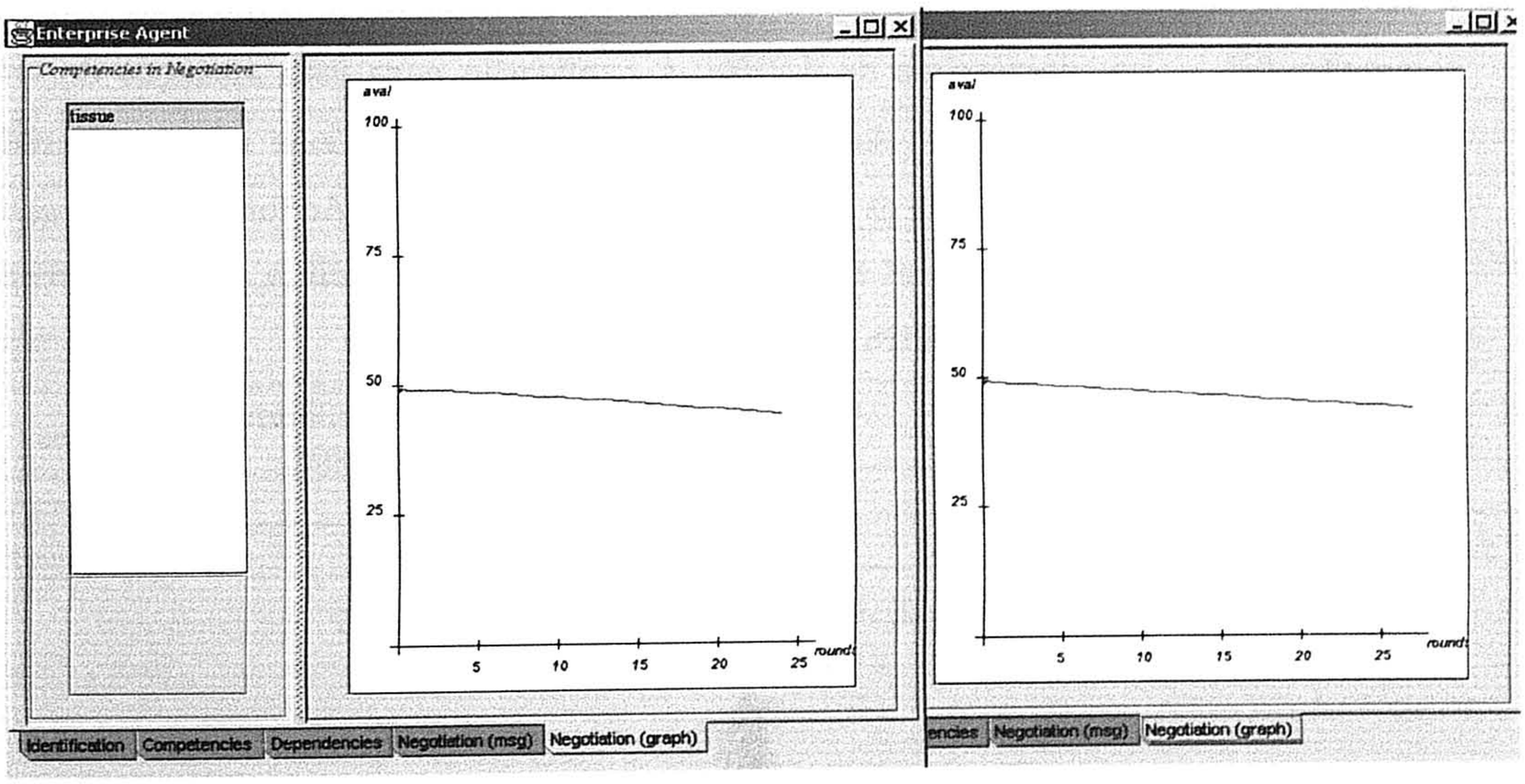


Figura 45. Processo de negociação visto pelos agentes Empresa AE_2 e AE_{2_NA} (cenário 2)

Da figura anterior, retira-se a seguinte informação:

- O agente Empresa $\boldsymbol{AE_2}$ inicia a negociação com um grau de satisfação de 49.32%, e termina com um grau de satisfação de 44.09% (relaxação de 5.23%).
- O agente Empresa $\boldsymbol{AE_{2_NA}}$ inicia a negociação com um grau de satisfação de 49.32%, e termina com um grau de satisfação de 44.08% (relaxação de 5.24%).
- Contrariamente ao primeiro cenário, o agente Empresa $\boldsymbol{AE_2}$ apresenta um comportamento aproximadamente linear na relaxação dos valores dos atributos quando da formulação de uma nova proposta (e consequente diminuição do valor de avaliação da proposta). Este comportamento é explicado pelo facto deste agente se adaptar ao comportamento do seu adversário (agente $\boldsymbol{AE_{2_NA}}$).

Os valores apresentados permitem retirar duas conclusões relevantes:

- A competitividade aumenta a exigência do mercado

  O agente Empresa $\boldsymbol{AE_2}$ é, neste segundo cenário, o agente vencedor da negociação, embora apresente uma menor relaxação dos seus atributos, e consequentemente um grau de satisfação mais elevado. Como o mercado é menos competitivo (por comparação com o primeiro cenário), pela ausência de mais agentes Empresa adaptativos, este agente $\boldsymbol{AE_2}$ não necessita relaxar demasiado os seus valores. O agente consegue assim, neste segundo cenário, vencer a negociação com um maior grau de satisfação que obteria como vencedor no primeiro cenário. Por outro lado, o agente Mercado vê a sua necessidade satisfeita com um grau de satisfação bastante inferior (29.17% neste segundo cenário, e 50.01% no primeiro cenário).

- A adaptação melhora o desempenho do agente

  O agente Empresa $\boldsymbol{AE_2}$, neste segundo cenário, vence a negociação com um decréscimo do seu grau de satisfação ligeiramente inferior ao do agente Empresa $\boldsymbol{AE_{2_NA}}$. (o agente $\boldsymbol{AE_2}$, apresenta um decréscimo do grau de satisfação de 5.23% e o agente $\boldsymbol{AE_{2_NA}}$. um decréscimo de 5.24%). A explicação para esta situação deriva do facto de o agente adaptativo $\boldsymbol{AE_2}$, contrariamente ao agente não adaptativo $\boldsymbol{AE_{2_NA}}$, não relaxar igualmente todos os atributos (mal classificados). Ao longo do processo de negociação, o agente "aprende" a realizar a acção mais adequada à situação actual do mercado, relaxando um ou outro atributo.

7.4.2. Exemplo de negociação na formação da EV

Nesta secção, relata-se o resultado do processo de negociação para formação de uma Empresa Virtual para disponibilização do bem ***casaco***. O agente Mercado (***AM***) manifesta a necessidade de obtenção do bem ***casaco*** (com os componentes ***tecido***, ***botão*** e ***máquina_costura***). O agente Mercado apresenta os requisitos já conhecidos (Tabela 10) para o componente ***tecido***. Os requisitos que o agente Mercado coloca aos restantes componentes ***botão*** e ***máquina_costura*** são apresentados na tabela seguinte (Tabela 12):

Componente	*Atributo*	*Domínio*	*Preferências*
botão	preço	0→130	0→130
	quantidade	4000→9000	4000→9000
	tempo_entrega	3→60	3→60
	diâmetro	1 -> 10	1 -> 4
	espessura	1 -> 8	1 -> 8
	cor	vermelho, preto, azul, amarelo, cinzento	preto, vermelho
máquina_costura	preço	0 -> 1000	0 -> 1000
	velocidade	500 -> 200	500 -> 200
	tempo_entrega	0 -> 30	0 -> 30
	ocupação	850 -> 500	850 -> 500

Tabela 12. Requisitos do agente Mercado para o bem casaco

Os agentes Empresa AE_{t1} e AE_{t2} são fornecedores da competência ***tecido***, e são equivalentes aos agentes AE_1 e AE_2 apresentados na secção 7.4.1, razão pela qual não repetimos aqui os valores que possuem para o fornecimento dessa competência.

Os agentes Empresa AE_{b1} e AE_{b2} são fornecedores da competência ***botão***. A tabela seguinte (Tabela 13) apresenta os valores que estes agentes possuem para o fornecimento da competência ***botão***.

	AE_{b1}		AE_{b2}	
Atributo	*Domínio*	*Preferências*	*Domínio*	*Preferências*
preço	200→50	200→50	300→30	300→30
quantidade	30000→3000	30000→3000	12000→2000	12000→2000
tempo_entrega	60→15	60→15	1→120	60→1 61→120
cor	vermelho, cinzento, azul, amarelo, preto	vermelho, azul, amarelo	vermelho, azul, preto, branco	vermelho, azul, preto, branco
diâmetro	25→6	25→6	20→4	20→4
espessura	1→5	1→5	0.5→5.5	0.5→5.5

Tabela 13. Competência dos agentes Empresa AE_{b1} e AE_{b2}

Os agentes Empresa AE_{m1} e AE_{m2} são fornecedores da competência ***máquina_costura***. A tabela seguinte (Tabela 14) apresenta os valores que estes agentes possuem para o fornecimento dessa competência.

	AE_{m1}		AE_{m2}	
Atributo	*Domínio*	*Preferências*	*Domínio*	*Preferências*
preço	1500→100	1500→100	2000→300	2000→300
tempo_entrega	45→10	45→10	15→60	15→60
ocupação	1500→100	1500→100	3000→400	3000→400
velocidade	100→400	100→400	150→700	150→700

Tabela 14. Competência dos agentes Empresa AE_{m1} e AE_{m2}

Todos os agentes são adaptativos. O tempo de negociação foi limitado a *50* rondas. A selecção das empresas a incluir como parceiras da Empresa Virtual que satisfaz a necessidade ***casaco*** é apresentada nos parágrafos seguintes.

Competência *tecido*

- Empresa seleccionada: AE_{t2}
- Proposta:

  { preço=2845.7925, quantidade=2005, tempo_entrega=7, cor=preto, categoria=nylon }

  - grau de satisfação de 44.89% para o agente Mercado
  - grau de satisfação de 33.2% para o agente AE_{t2} (relaxação de 16.12%)

O agente AE_{t1} apresenta, relativamente ao agente AE_{t2}, um domínio de valores mais alargado dentro da gama que o agente Mercado definiu como admissível. Nomeadamente no atributo *preço*, que é o atributo considerado mais importante para o agente Mercado, o domínio de valores relaxáveis para o agente AE_{t1} é de 3700 (3800-100) e para o agente AE_{t2} é de 2800 (4000-1200). Apesar deste facto, é o agente AE_{t2} que apresenta a melhor proposta no final da negociação, apresentando para este mesmo atributo *preço* um valor inferior (mais favorável ao agente Mercado) ao da última proposta do agente AE_{t1} (2845.7925 e 2935.039, respectivamente).

No início da negociação, o agente AE_{t1} apresenta uma proposta muito mais favorável ao agente Mercado, tornando-se o vencedor durante as primeiras 20 rondas de negociação (ver Figura 46). Durante este tempo, o agente AE_{t2} aprende a melhorar o seu comportamento, tentando superar a proposta do seu adversário (agente AE_{t1}). Só após 20 rondas, o agente AE_{t1} é "obrigado" a alterar a sua proposta, iniciando agora o seu processo de aprendizagem. O facto deste agente ter iniciado a aprendizagem bastante mais tarde que o agente AE_{t2} pode explicar o melhor desempenho apresentado por este último.

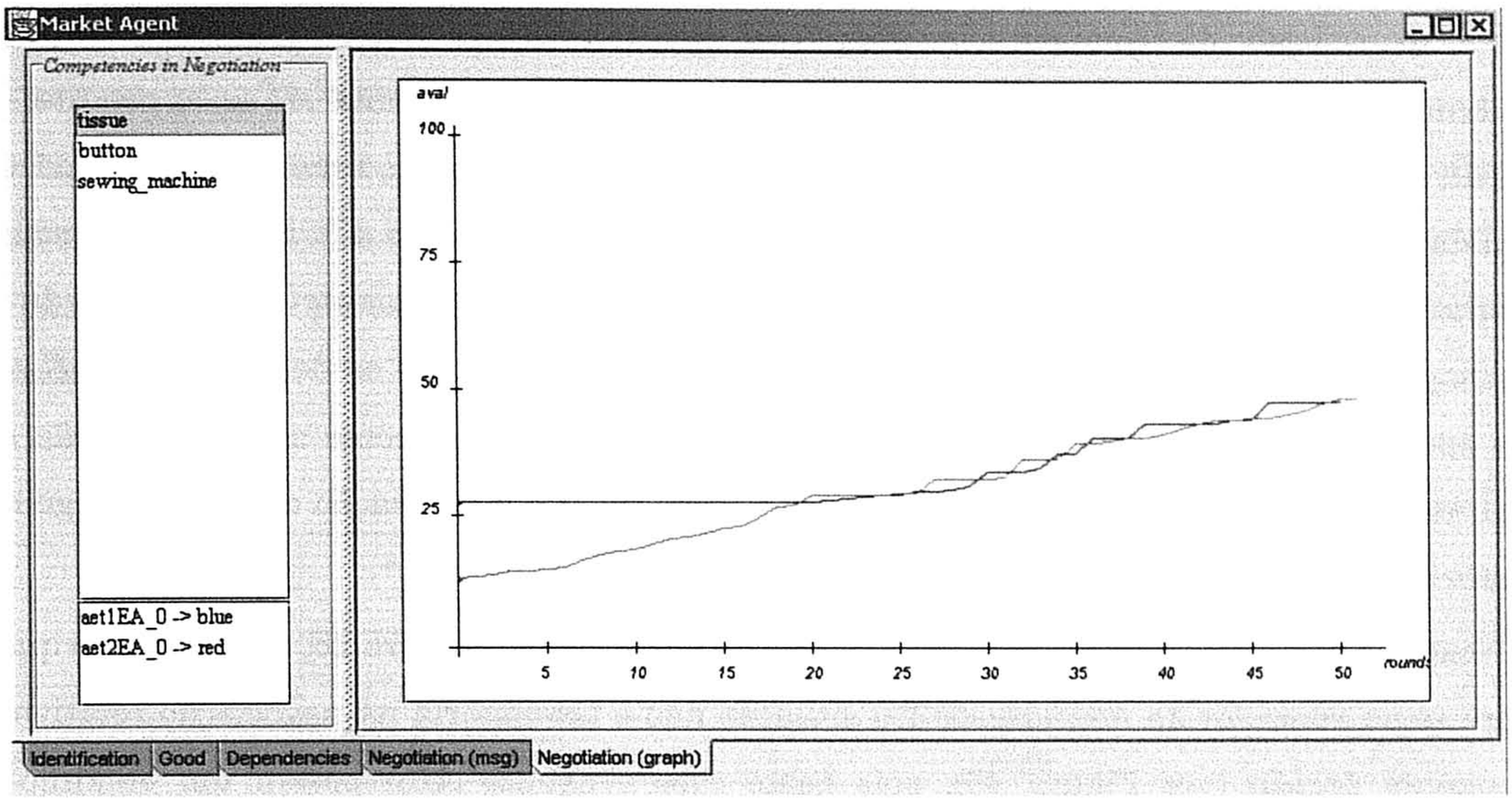


Figura 46. Processo de negociação do componente "tecido"

Competência *botão*

- Empresa seleccionada: AE_{b1}
- Proposta:

  { preço=119.60227, quantidade=7894, tempo_entrega=47, cor=vermelho,

  diâmetro=9.331376, espessura=1.0 }

  - grau de satisfação de 33.91% para o agente Mercado
  - grau de satisfação de 51.83% para o agente AE_{b1} (relaxação de 8.8%)

Os dois agentes AE_{b1} e AE_{b2} apresentam valores muito aproximados para a sua competência, apresentando um comportamento muito semelhante. Porque ambos os agentes são adaptativos, e os domínios de valores apresentados para fornecimento da competência são aproximados, era de prever o comportamento muito semelhante apresentado pelos agentes AE_{b1} e AE_{b1}.

Competência *máquina_costura*

- Empresa seleccionada: AE_{m1}
- Proposta:

  { preço=838, tempo_entrega=10, ocupação=850, velocidade=241 }

  - grau de satisfação de 44.89% para o agente Mercado
  - grau de satisfação de 37.1% para o agente AE_{m1} (relaxação de 23.14%)

Na negociação da competência ***máquina_costura*** ocorre uma situação um pouco semelhante à descrita na negociação do componente ***tecido***. O agente AE_{m2} apresenta, no início da negociação, uma proposta mais favorável que o agente AE_{m1}, tornando-se o vencedor actual da negociação até à ronda de negociação número 28 (ver Figura 47). Só após esta ronda, o agente AE_{m2} inicia o seu processo de aprendizagem. Contrariamente ao que sucede no fornecimento da competência ***tecido***, aqui, o domínio de valores que os dois agentes AE_{m1} e AE_{m2} apresentam, dentro da gama que o agente Mercado definiu como admissível, não são significativamente diferentes. Este facto realça a ideia de que a utilização da aprendizagem-Q melhora o desempenho de um agente Empresa.

Neste processo de negociação, o agente AE_{m1}, após a ronda número 28, apresenta-se quase sempre como vencedor da negociação. Tal situação não é tão notória na negociação relativa ao componente ***tecido*** (ver Figura 46), pois neste caso o agente AE_{t1} possui um domínio de valores muito mais alargado que o agente AE_{t2}, podendo apresentar valores de relaxação mais elevados para os atributos quando da formulação de uma nova proposta.

Em conclusão, na negociação da competência ***máquina_costura***, o agente vencedor foi o agente AE_{m1}, que beneficiou do facto de ter iniciado o seu processo de aprendizagem mais cedo que o agente AE_{m2}.

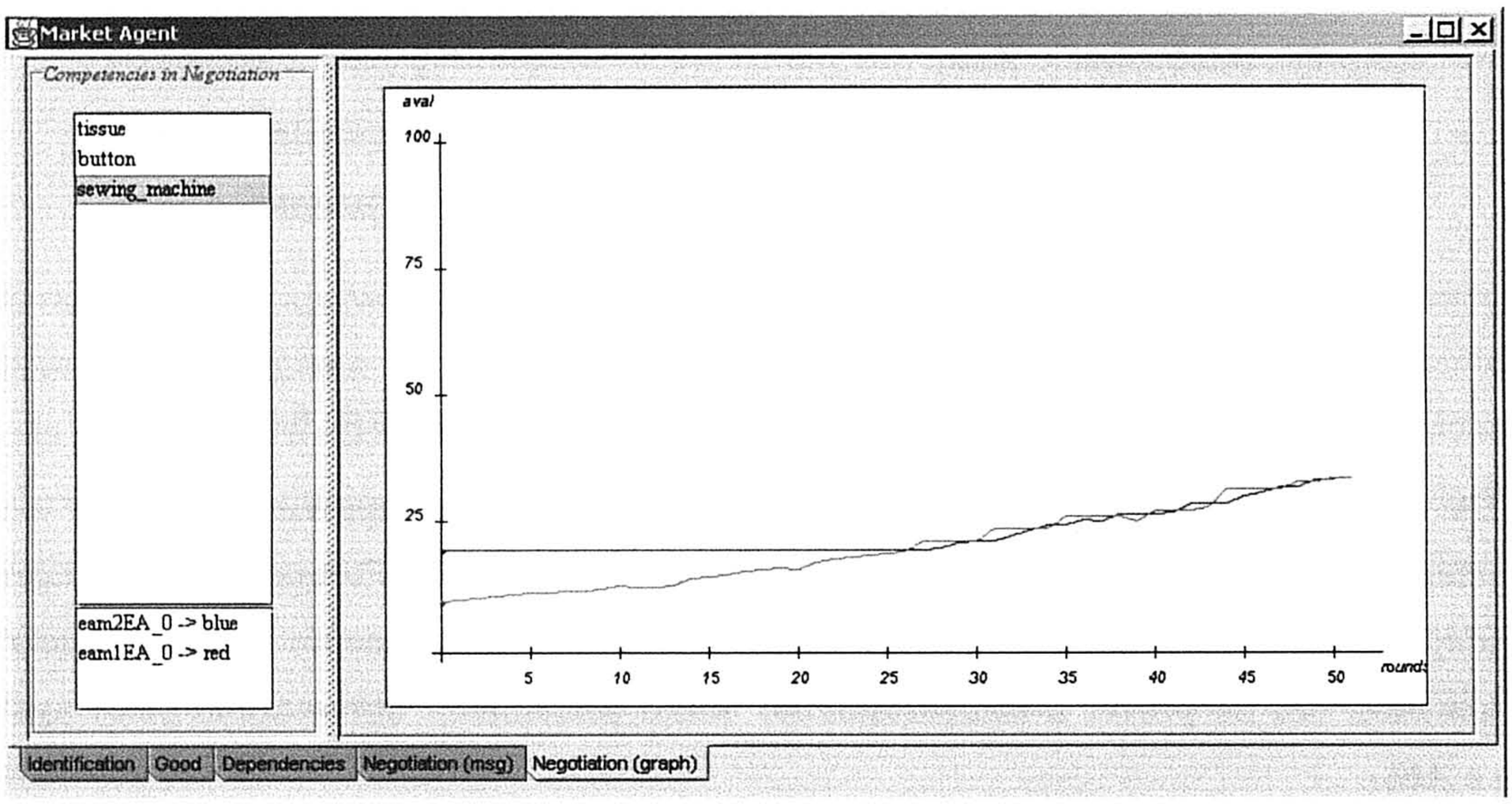


Figura 47. Processo de negociação do componente "máquina_costura"

7.4.3. Exemplo de resolução de PSDD

Até aqui, admitimos que os processos de negociação de componentes diferentes eram independentes. Porém, em uma Empresa Virtual, os múltiplos componentes que compõem o bem a satisfazer, geralmente fornecidos por empresas distintas, podem conter dependências

entre os valores dos seus atributos. Tais dependências são definidas pelos agentes Empresa respectivos, quando do seu registo no sistema *ForEV*.

No cenário descrito na secção anterior, os agentes Empresa $\boldsymbol{AE_{t1}}$ e $\boldsymbol{AE_{t2}}$ definem a existência de dependências entre os valores do atributo ***cor*** das sua competência ***tecido***, e o atributo ***cor*** da competência ***botão***. Ambos os agentes apresentam as seguintes dependências (Tabela 15):

	dependências
componente = *tecido* atributo = *cor*	componente = *botão* atributo = *cor*
vermelho	vermelho
preto	preto, cinzento
verde	verde
azul	azul
cinzento	preto, cinzento

Tabela 15. Dependências apresentadas pelos agentes Empresa AE_{t1} e AE_{t2}

Os agentes Empresa $\boldsymbol{AE_{b1}}$ e $\boldsymbol{AE_{b2}}$ também definem a existência de dependências entre os valores do atributo ***cor*** da sua competência ***botão***, e o atributo ***cor*** da competência ***tecido***. Ambos os agentes apresentam as seguintes dependências (Tabela 16):

$\boldsymbol{AE_{b1}}$	*dependências*	$\boldsymbol{AE_{b2}}$	*dependências*
componente = *botão* atributo = *cor*	componente = *tecido* atributo = *cor*	componente = *botão* atributo = *cor*	componente = *tecido* atributo = *cor*
vermelho	vermelho	vermelho	vermelho
amarelo	amarelo	preto	preto
cinzento	cinzento	azul	azul
azul	azul	branco	branco

Tabela 16. Dependências apresentadas pelos agentes Empresa AE_{b1} e AE_{b2}

Na negociação para o fornecimento dos componentes ***tecido*** e ***botão***, foram seleccionados os agentes Empresa $\boldsymbol{AE_{t2}}$ e $\boldsymbol{AE_{b1}}$, respectivamente. As propostas emitidas por estes dois agentes foram as propostas a seguir identificadas como $\boldsymbol{P_t}$ (para o componente ***tecido***) e $\boldsymbol{P_b}$ (para o componente ***botão***):

$\boldsymbol{P_t}$: *{ preço=2845.7925, quantidade=2005, tempo_entrega=7, cor=preto ,categoria=nylon }*

$\boldsymbol{P_b}$: *{ preço=119.60227, quantidade=7894, tempo_entrega=47, cor=vermelho,*

diâmetro=9.331376, espessura=1.0 }

Tal como definido pelos agentes emissores das propostas, as propostas $\boldsymbol{P_t}$ e $\boldsymbol{P_b}$ são incompatíveis. O agente Mercado, após o término da negociação, detecta esta incompatibilidade e informa um dos agentes (neste caso, o agente $\boldsymbol{AE_{t2}}$) da existência de dependências entre estas propostas vencedoras. O agente $\boldsymbol{AE_{t2}}$ inicia então o processo de

resolução de PSDD com o agente $\boldsymbol{AE_{b1}}$. Para um correcto entendimento de como o processo se desenrola, convém lembrar as preferências que os agentes $\boldsymbol{AE_{t2}}$ e $\boldsymbol{AE_{b1}}$ apresentam para o atributo ***cor*** das competências ***tecido*** e ***botão***, respectivamente.

$\boldsymbol{AE_{t2}}$ – Competência ***tecido***, Atributo ***cor*** : $preto >_{imp} azul >_{imp} vermelho$

$\boldsymbol{AE_{b1}}$ – Competência ***botão***, Atributo ***cor*** : $vermelho >_{imp} azul >_{imp} amarelo$

Nos pontos seguintes, descreve-se este processo, que é ilustrado na Figura 48. As mensagens apresentadas nesta figura não estão completas, contendo apenas a informação relevante para o entendimento do processo de resolução de PSDD.

- O agente $\boldsymbol{AE_{t2}}$ selecciona a melhor proposta para si no momento, e envia ao agente $\boldsymbol{AE_{b1}}$ uma mensagem ($\boldsymbol{m_{t1}}$) indicando a diminuição da utilidade (*du=0*) dessa proposta, e os valores que devem ser satisfeitos (*cor={preto, cinzento}*).
- O agente $\boldsymbol{AE_{b1}}$ responde à proposta (*id=tissue_0*) enviada pelo agente $\boldsymbol{AE_{t2}}$, com uma mensagem ($\boldsymbol{m_{b1}}$) indicando a diminuição do valor da utilidade (du) (*du=0.1428*) que a satisfação dos valores pedidos representa para si. Este agente calcula e armazena o valor da diminuição da utilidade total (dut) (*dut=0.1428*) desta proposta. O agente $\boldsymbol{AE_{b1}}$ calcula uma contra-proposta (*id=button_0*), seleccionando a melhor proposta para si, e envia ao agente $\boldsymbol{AE_{b1}}$ uma mensagem ($\boldsymbol{m_{t2}}$) indicando a du (*du=0*) dessa proposta, e os valores que devem ser satisfeitos (*cor=vermelho*).
- O agente $\boldsymbol{AE_{t2,}}$ ao receber a resposta à sua proposta (*id=tissue_0*), calcula e armazena o valor da dut (*dut=0.1428*) Este agente selecciona a próxima proposta mais favorável para si (*id=tissue_1*), e envia ao agente $\boldsymbol{AE_{b1}}$ uma mensagem ($\boldsymbol{m_{t2}}$) indicando a du (*du=0.0333*) dessa proposta, e os valores que devem ser satisfeitos (*cor=azul*).
- O agente $\boldsymbol{AE_{t2}}$ responde à contra-proposta do agente $\boldsymbol{AE_{b1}}$ (*id=button_0*) com uma mensagem ($\boldsymbol{m_{t3}}$) indicando a du (*du=0.0666*) que a satisfação dos valores pedidos representa para si. Este agente calcula e armazena o valor da dut (*dut=0.0666*) desta proposta. Este agente não consegue fornecer o componente ***tecido*** com um valor do atributo ***cor*** diferente dos já propostos, sem obter um valor de diminuição da utilidade superior a 0.0666. Assim, este agente aceita a proposta já discutida (*id=button_0*).
- O agente $\boldsymbol{AE_{b1}}$ responde à proposta (*id=tissue_1*) enviada pelo agente $\boldsymbol{AE_{t2}}$, com uma mensagem ($\boldsymbol{m_{b3}}$) indicando a du (*du=0.0357*) que a satisfação dos valores pedidos representa para si. Este agente calcula e armazena o valor da dut (*dut=0.069*) desta proposta. Este agente não consegue fornecer o componente ***botão*** com um valor do atributo ***cor*** diferente dos já propostos, sem obter um valor de diminuição da utilidade superior a 0.0666. Assim, este agente aceita a proposta já enviada (*id=button_0*).

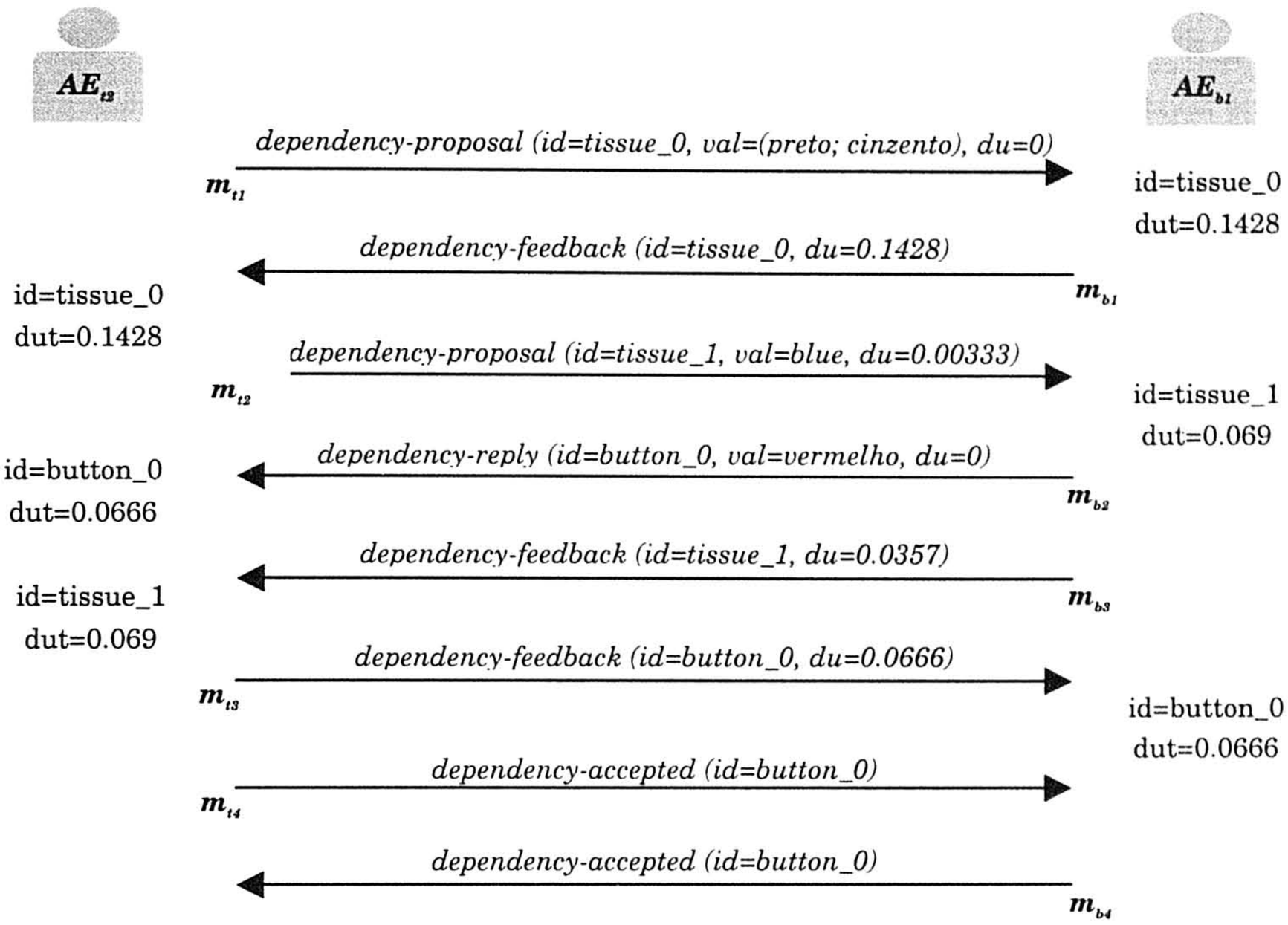


Figura 48. Processo de resolução de PSDD entre os agentes AE_{t2} e AE_{b1}

Em conclusão, a solução aceite por ambos os agentes (*id=tissue_0*) inclui o valor ***"vermelho"*** para o atributo ***cor*** dos componentes ***tecido*** e ***botão***.

Os agentes $\boldsymbol{AE_{t2}}$ e $\boldsymbol{AE_{b1}}$ modificam as suas propostas anteriores (vencedoras da negociação para formação da EV) de acordo com a solução obtida neste processo de resolução de PSDD. As novas propostas, apresentadas a seguir, são enviadas ao agente Mercado:

$\boldsymbol{P'_t}$: *{ preço=2845.7925, quantidade=2005, tempo_entrega=7, cor=vermelho, categoria=nylon }*

$\boldsymbol{P'_b}$: *{ preço=119.60227, quantidade=7894, tempo_entrega=47, cor=vermelho, diâmetro=9.331376, espessura=1.0 }*

O valor da avaliação que o agente Mercado calcula para as novas propostas é o seguinte:

- A proposta $\boldsymbol{P'_t}$ apresenta um grau de satisfação de 35.3% (a proposta $\boldsymbol{P_t}$ apresentava um grau de satisfação de 44.89%)
- A proposta $\boldsymbol{P'_b}$ apresenta um grau de satisfação de 33.91% (o mesmo valor da proposta $\boldsymbol{P_b}$, pois estas duas propostas são iguais)

A figura seguinte (Figura 49) apresenta as mensagens que são trocadas entre os agentes AE_{t2} e AE_{b1} durante o processo de resolução de PSDD, visto pelo agente AE_{b1}, tal como apresentado no sistema *ForEV*.

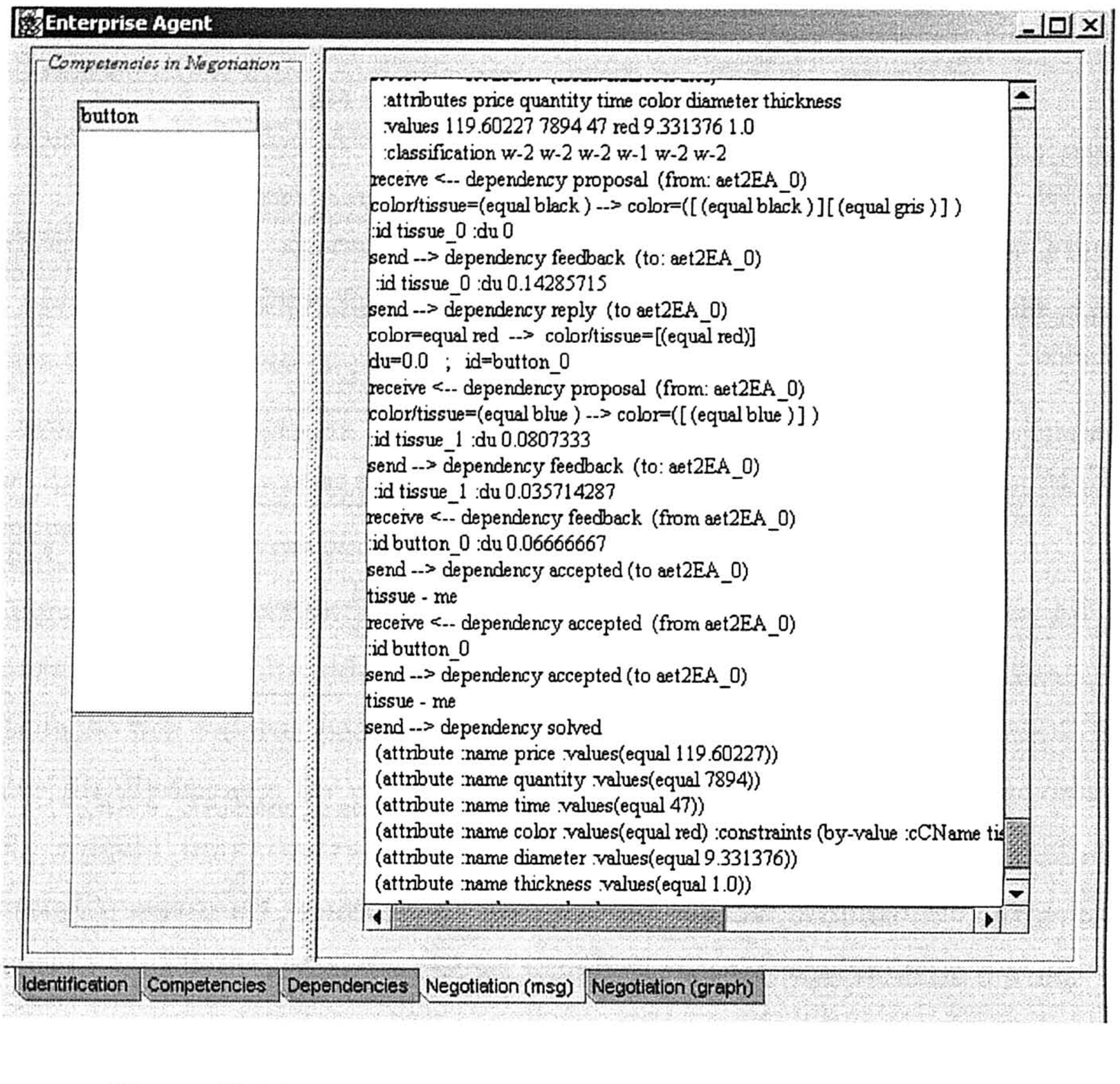


Figura 49. Mensagens trocadas no processo de resolução de PSDD

O processo de resolução de PSDD, tal como foi definido, garante a obtenção da solução que minimiza o valor de diminuição de utilidade total. Uma característica importante deste processo, que foi já referida anteriormente, é o facto de as propostas enviadas pelos agentes intervenientes não revelar o valor da utilidade real que essas propostas apresentam. A **manutenção da privacidade de informação é assegurada pelo envio do valor relativo, apenas, à diminuição da utilidade**, sem prejuízo da garantia de obtenção da solução mínima.

7.5. Conclusão

Neste capítulo, apresentamos o sistema *ForEV*, desenvolvido com o propósito de permitir a formação automática de uma Empresa Virtual. O protótipo laboratorial implementado apresenta-se, no estado actual de desenvolvimento, a uma grande distância do que será um sistema a aplicar a um caso real. No entanto, este protótipo permite validar as metodologias de

negociação propostas nesta tese, e que conduzem à formação de uma EV por selecção das empresas mais competentes em um determinado instante.

A arquitectura do sistema *ForEV* foi apresentada e discutida neste capítulo. Este sistema foi implementado com um sistema Multi-Agente, onde se encontram três tipos de agente: o agente Registo, o agente Mercado e o agente Empresa. O agente Registo é o agente responsável pela criação e manutenção do local de mercado. As suas funções incluem a identificação e registo de todos os participantes, e também a construção e disponibilização de uma ontologia simples. O agente Mercado é o agente responsável pela modelação da entidade física cliente, e possui o objectivo de satisfazer, o melhor possível, a necessidade do cliente. O agente Empresa é o agente responsável pela modelação da (componente relevante da) entidade física empresa, e possui o objectivo de ser seleccionado como agente participante na EV, disponibilizando competências próprias.

A plataforma de comunicação usada no desenvolvimento do sistema ForEV foi a plataforma JATLite, tendo sido modificada a aplicação central desta plataforma, AMR ("Agent Message Router"). Esta modificação deveu-se ao facto de ser necessário incluir funções adicionais ao componente AMR, nomeadamente o registo de necessidades de agentes Mercado e competências de agentes Empresa, e a detecção das correspondências entre estes dois itens de informação. Um outro aspecto relevante da implementação do sistema *ForEV*, é o facto deste incluir não uma única, mas sim múltiplas aplicações AMR, uma para cada necessidade diferente. Com esta divisão pretende-se evitar alguma sobrecarga na comunicação, mas mais essencialmente, pretende-se separar negócios diferentes. De um ponto de vista conceptual, faz todo o sentido negociar bens de domínios diferentes em locais de mercado diferentes, também porque a ontologia exigida em cada caso será certamente diferente.

A última parte deste capítulo apresenta alguns exemplos de funcionamento do sistema, validando a metodologia proposta nesta tese, relativa ao algoritmo de Negociação-Q que inclui aprendizagem, e ao processo de resolução do problema de satisfação de dependências distribuídas.

Da análise dos resultados obtidos no sistema *ForEV*, por todas as experiências realizadas, conclui-se a necessidade de desenvolvimento futuro de dois pontos essenciais:

- A sofisticação da ontologia

  A ontologia disponibilizada pelo sistema *ForEV* é relativamente simples, sendo notória a necessidade de alguma sofisticação. Por exemplo, na formulação do comentário a uma proposta, durante o processo de negociação, o agente Mercado indica qual a direcção do desvio dos valores propostos relativamente às suas preferências. Se os atributos em discussão são valores não numéricos, essa informação depende do tipo de atributo, e só será entendida se existir uma ontologia apropriada.

Como exemplo, refere-se o atributo ***cor***, onde a indicação da direcção do desvio de determinado valor proposto, poderia ser uma informação $I \in \{cor_clara, cor_escura\}$. Neste caso, a ontologia adoptada deve permitir entender os conceitos *cor_clara* e *cor_escura*.

- A identificação de dependências

  Actualmente, no sistema *ForEV*, a especificação de dependências entre dois quaisquer atributos (Atb_i e Atb_j)é realizada pela enumeração exaustiva dos valores desses atributos Atb_i e Atb_j. Torna-se útil, em muitas situações, especificar tais dependências como uma função. Como exemplo, refere-se o caso de existir uma dependência entre o atributo ***quantidade*** do componente ***tecido*** ($\boldsymbol{Atb}_{q_t}$) e o atributo ***quantidade*** do componente ***botão*** ($\boldsymbol{Atb}_{q_b}$), que estabelece uma relação linear entre os valores destes atributos (Valor($\boldsymbol{Atb}_{q_t}$)= n* Valor($\boldsymbol{Atb}_{q_b}$)).

Capítulo 8

Conclusões

Este último capítulo apresenta uma síntese do trabalho reportado neste documento, referindo as contribuições originais desenvolvidas e as conclusões retidas. São também apresentadas as limitações e perspectivas de desenvolvimento futuro.

8.1. Síntese do Trabalho Desenvolvido

O objectivo geral deste trabalho foi o estudo e desenvolvimento de metodologias de negociação adaptadas ao cenário de formação de uma Empresa Virtual.

A Empresa Virtual é uma estrutura organizacional, de carácter temporário, constituída por uma rede de empresas que surge em resposta aos requisitos actualmente colocados a uma nova economia, requisitos esses que são sumariadas nos parágrafos seguintes.

A crescente evolução das tecnologias de comunicação e informação originou o estabelecimento de mercados mais abertos, baseados em redes de comunicação públicas, e denominados *mercados electrónicos*. Porque estas redes públicas são acessíveis a qualquer entidade (indivíduo ou empresa de grande, média ou pequena dimensão), encontram-se no mercado clientes e fornecedores heterogéneos, em número elevado, que nele entram e saem frequentemente. Desta descrição resultam duas características essenciais do mercado electrónico: i) o elevado número de possíveis participantes em simultâneo traduz-se em um aumento da *competitividade* do mercado; ii) o movimento constante de entrada e saída de participantes heterogéneos traduz-se em um aumento da *dinâmica* do mercado.

A presença de um número elevado de clientes e fornecedores, geralmente heterogéneos, implica a existência de inúmeras e variadas opções no mercado, quer de oferta, quer de procura. Quando cresce o leque de opções de ofertas, a procura tende a ser mais exigente, exigência essa que se traduz actualmente na não normalização de produtos e no aumento da qualidade. Uma empresa por si só, não consegue satisfazer todos estes requisitos, tendo estas pressões de mercado conduzido a uma interacção entre empresas especializadas em áreas específicas, originando a formação de corporações.

A dinâmica do mercado obriga a que tais corporações só sejam eficientes na resolução da necessidade verificada nesse instante. A alteração da procura, ainda que não muito significativa, pode obrigar à alteração da corporação existente, por inclusão de empresas mais especializadas em determinadas áreas, ou capazes de satisfazer certas condições específicas

desse instante. As corporações formadas no mercado são, assim, geralmente temporárias, sendo esta estrutura organizacional denominada de Empresa Virtual.

O mercado electrónico que serve de suporte computacional à Empresa Virtual é, nesta tese, e para dar resposta aos requisitos apontados nos parágrafos anteriores, traduzido em um Sistema Multi-Agente onde os agentes aí incluídos são agentes deliberativos de dois tipos:

- Agentes empresa

  Agente representativo de uma empresa individual, cujo objectivo é a pertença à Empresa Virtual. Este é um agente deliberativo do tipo "BDI", que actualizando as suas *crenças* (informação sobre o comportamento dos seus competidores, ou seja, as outras empresas no mercado), procura satisfazer os *desejos* quer de maximização da utilidade própria, quer de satisfação da necessidade da Empresa Virtual, com o *intento* de ser seleccionado como membro dessa Empresa Virtual.

- Agentes mercado

  Agente representativo da necessidade da Empresa Virtual, cujo objectivo é a selecção do conjunto de acções que melhor satisfaz tal necessidade.

As metodologias de negociação por nós desenvolvidas, e reportadas neste trabalho, procuram satisfazer as exigências prementes de competitividade e dinâmica do mercado electrónico.

No contexto de formação de uma Empresa Virtual, os bens em negociação (objecto ou necessidade da Empresa Virtual) foram descritos como um *conjunto de componentes* dependentes, definidos por *múltiplos atributos*.

A manutenção da **privacidade** de informação da utilidade de um agente é um ponto essencial que deve ser assegurado em qualquer actividade comercial. Nenhum participante em uma actividade comercial quer dar a perceber, a um oponente, ou a outro qualquer participante competidor, a avaliação que este faz de determinado bem. Tal facto significaria uma perda de poder negocial no mercado.

No mecanismo de negociação por nós desenvolvido, é assegurada a manutenção da privacidade da informação da utilidade, quer do agente mercado, quer do agente empresa.

A *argumentação*, é usada pelo agente mercado, para realizar um comentário (crítica) a propostas emitidas por agentes empresa, por meio de uma avaliação qualitativa dos valores aí apresentados. Assim, é mantida desconhecida, para os agentes empresa, qual a utilidade real que o agente mercado atribui a um determinado bem, sendo apenas revelada uma avaliação qualitativa dessa utilidade.

Na resolução do problemas de satisfação de dependências existentes entre propostas emitidas por diferentes empresas, o valor de *diminuição de utilidade (du)* é um conceito introduzido no algoritmo proposto, que permite garantir a manutenção da privacidade da informação dos agentes empresa. O algoritmo por nós proposto para este problema de

satisfação de dependências distribuídas, inclui um protocolo de interacção que permite que os agentes troquem entre si soluções possíveis, por relaxação dos valores das variáveis dependentes, e respectiva avaliação (traduzida no valor *du*). A diminuição de utilidade (*du*) de uma solução é o quanto a utilidade, para esse agente, é diminuída, por adopção dessa solução específica em detrimento da solução inicialmente tentada (óptima). Conseguiu-se assim um algoritmo descentralizado de resolução de dependências distribuídas.

A capacidade de aprendizagem é uma capacidade relevante para os agentes empresa que procuram obter os melhores acordos possíveis em mercados dinâmicos, onde a informação disponível é não só variável mas também incompleta. Assim propusemos um algoritmo de negociação, que denominamos de Negociação-Q, que incorpora, na sua fase de formação de novas propostas, o resultado da aprendizagem resultante de interacções anteriores.

A aprendizagem de um agente empresa é realizada usando uma variante do algoritmo de aprendizagem-Q, que foi seleccionado por permitir quer a observação, quer a exploração do ambiente (sendo esta última uma característica deveras importante em ambientes dinâmicos). A aprendizagem resulta de uma avaliação que o agente deduz que seja a avaliação que o mundo exterior faz da sua proposta. Essa avaliação é formulada com base no comentário *qualitativo* que o agente mercado fez dos valores presentes na proposta que o agente empresa enviou.

Referimos ainda que o algoritmo de negociação proposto, apresenta uma avaliação qualitativa das propostas relativas a um bem definido por múltiplos atributos. Geralmente, a avaliação de uma proposta em uma negociação multi-atributo, é traduzida em uma função de utilidade que consiste em uma soma ponderada dos valores de utilidade dos diferentes atributos. Por considerarmos que, por vezes, pode ser extremamente difícil atribuir um valor numérico à utilidade de um atributo, optamos por realizar uma análise não quantitativa, mas sim qualitativa da proposta. Assim, a função de utilidade que propomos traduz-se em uma ordenação de preferências relativas dos atributos que compõem a proposta

Por últimos, referimos que foi desenvolvido um protótipo da plataforma *ForEV (Formação de Empresas Virtuais)*, que traduz a arquitectura de Sistema Multi-Agente proposto, e inclui as metodologias de negociação desenvolvidas e reportadas neste documento.

8.2. Limitações e Perspectivas de Desenvolvimento Futuro

Gostaríamos de efectuar no futuro um conjunto de melhoramentos, e extensões do sistema actualmente existente, que descrevemos nos parágrafos seguinte. Tais melhoramentos estão directamente relacionados com as limitações que apontamos ao sistema até agora desenvolvido.

Um primeiro e importante melhoramento, prende-se com a validação das metodologias de negociação descritas por aplicação a um caso real. O protótipo da plataforma *ForEV (Formação*

de Empresas Virtuais), foi testado apenas em exemplos simulados e simplificados de um sub-domínio da indústria têxtil. Contudo, os resultados obtidos são encorajadores, e fomentam até a curiosidade em testar o sistema *ForEV* em um caso real. Para que tal seja possível, algumas funcionalidades do sistema *ForEV* necessitam de melhoramento imediato:

- Sofisticação da ontologia, nomeadamente a possibilidade de o agente mercado avaliar (sob a forma de comentário) atributos não numéricos.
- Identificação de dependências entre atributos, por definição de uma função, e não apenas por enumeração exaustiva dos valores dependentes.

A arquitectura dos agentes empresa carece de uma melhoria que gostaríamos de realizar em um futuro próximo, por inclusão de uma componente deliberativa "BDI". Nomeadamente, parece-nos que a inclusão de compromissos e intenções sociais representa um tópico de interesse especialmente relevante no contexto de uma Empresa Virtual.

O desenvolvimento de Meta Instituições e Instituições Electrónicas são conceitos que pretendemos desenvolver no futuro, com aplicação no contexto das Empresas Virtuais. Uma *Instituição Electrónica* pode ser definida como uma plataforma que permite efectivar, em uma rede de comunicação, transacções automáticas entre diferentes participantes de acordo com um conjunto de regras e normas explícitas da instituição. O objectivo da existência de tais normas e regras é regular o comportamento social dos participantes. Uma *Meta Instituição* é uma ferramenta que permite a geração de Instituições Electrónicas apropriadas, quando o sistema detecta necessidades específicas. Em particular, os pontos enumerados nos parágrafos seguintes constituem funcionalidades, que gostaríamos de desenvolver, e deverão existir em uma Instituição Electrónica, instituição essa que suporta a Empresa Virtual.

A extensão a outras fases da Empresa Virtual, que não a formação, é um aspecto a considerar. A arquitectura proposta no trabalho aqui reportado, parece-nos que permite (com a inclusão de certas funcionalidades) a efectivação desta extensão, nomeadamente à fase de operação da Empresa Virtual.

O desenvolvimento mais aprofundado e genérico de serviços de ontologia que deverão ficar disponíveis no Sistema Multi-Agente suportando o mercado electrónico vocacionado para as Empresas Virtuais. Tais serviços incluiriam processos genéricos de criação de ontologias específicas e serviços de tradução para ontologias já pré-existentes.

O estabelecimento de contratos, com especificação de compromissos (totais ou parciais) e respectivas penalidades, entre os agentes empresa e o agente mercado é um assunto de importância vital em acordos realizados em um ambiente aberto.

Finalmente, consideramos ser de interesse futuro a aplicação de toda a metodologia exposta nesta tese a um domínio concreto de aplicação, como por exemplo o do sector têxtil.

Referências

[Aagedal e Oldevik, 1997] – Jan Oyvind Aagedal e Jon Oldevik. *DEM – A Data Exchange Facility for Virtual Enterprises.* IEEE Sixth International Workshops on Enabling Technologies: Infrastructures for Collaborative Enterprises, Cambridge, USA, 1997.

[Alexakis, 1998] – Spiros Alexakis. *VENTO – Virtual Enterprise Organiser.* Public final report, CAS Software et al., 1998.

[Alonso *et al.*, 1999] – G.Alonso, U. Fiedler, C. Hagen, A. Lazcano, H. Schuldt e N. Weiler. *WISE: Business to Business E-Commerce.* IEEE Ninth International Workshop on Research Issues on Data Engineering – Information Technology for Virtual Enterprises (incluído em Fiftheen International Conference on Data Engineering), Sydney, Australia, 1999.

[Amberg, 1997] – Michael Amberg. *An Integrated Approach to Business Process and Workflow Modeling of Virtual Enterprises.* European Conference on Virtual Enterprises and Network Solutions - New Perspectives on Management, Communication and Information Technology, Paderborn, Germany, 1997.

[Appel, 1997] – Wolfgang Ph. Appel. *The contribution of multi-media communication systems to the formation and work of Virtual Organisations.* European Conference on Virtual Enterprises and Network Solutions - New Perspectives on Management, Communication and Information Technology, Paderborn, Germany, 1997.

[Armstrong e Durfee, 1997] – Aaron Armstrong e Edmund Durfee. *Dynamic Prioritization of Complex Agents in Distributed Constraint Satisfaction Problems.* Fifteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence, Nagoya, Aichi, Japan, 1997.

[Arnold *et al.*, 1995] – O. Arnold, W. Faisst, M. Hartling e P. Sieber. *Virtuelle Unternehmen als Unternehmenstyp der Zukunft?.* Handbuch der modernen Datenverarbeitung – Theorie und Praxis der Wirtschaftsinformatik, Vol.185, editado por Heidelberg: Huthig-Verlag, 1995.

[Bakos, 1998] – Yannis Bakos. *The Emerging Role of Electronic Marketplaces on the Internet.* Communications of the ACM, Vol.41, N°8, pp.35-42, 1998.

[Bakos e Brynjolfsson, 1997] – Yannis Bakos e Erik Brynjolfsson. *Organizational Partnerships and the Virtual Corporation*. Information Technology and Industrial Competitiveness: How Information Technology Shapes Competition, editado por C. Kemerer, Kluwer Academic Publishers, capítulo 4, 1997.

[Bichler *et al.*, 1998] – Martin Bichler, Arie Segev e Carrie Beam. *An Electronic Broker for Business-to-Business Electronic Commerce on the Internet.* International Journal of Cooperative Information Systems, Vol.7, N°4, pp.315-330, 1998.

[Brandt *et al.*, 2000] – Felix Brandt, Wilfried Brauser e Gerhard Weiβ. *Task Assignment in Multiagent Systems based on Vickrey-type Auctioning and levelled Commitment Contracting.* Fourth International Workshop on Cooperative Information Agents, Boston, USA, 2000.

[Bultje e Wijk, 1998] – René Bultje e Jacoliene van Wijk. *Taxonomy of Virtual Organisations, based on definitions, characteristics and typology.* VONet: virtual-organization.net – Newsletter, Vol.2, N° 3, pp.7-21, 1998.

[Burckert *et al*, 1999] – H. J. Burckert, K. Fischer e C. Ruβ. *MAS Technologies for Supply Chain Management in Virtual Enterprises.* Workshop Intelligente Softwareagenten und betriebswirtschaftliche Anwendungsszenarien, Arbeitsbericht Nr.14 der Fakultat fur Wirtschaftswissenschaften, Lehrstuhl fur Wirtschaftsinformatik 2, der Technischen Universitat Ilmenau, 1999.

[Byrne *et al.*, 1993] – J. A. Byrne, R. Brandt e O. Bort. *The Virtual Corporation.* Business Week, Vol.8, pp.36-40, 1993.

[Camarinha e Afsarmanesh, 1999a] – L. M. Camarinha-Matos e H. Afsarmanesh. *The Virtual Enterprise Concept.* Infrastructures for Virtual Enterprises, editado por Luis M. Camarinha-Matos e Hamideh Afsarmanesh, Kluwer Academic Publishers, pp.3-30, 1999.

[Camarinha e Afsarmanesh, 1999b] – L. M. Camarinha-Matos e H. Afsarmanesh. *The PRODNET Goals and Approach.* Infrastructures for Virtual Enterprises, editado por Luis M. Camarinha-Matos e Hamideh Afsarmanesh, Kluwer Academic Publishers, pp.97-108, 1999.

[Camarinha e Lima, 1998] – L. M. Camarinha-Matos e C. Pantoja Lima. *A Framework for Cooperation in Virtual Enterprises.* Design of Information Infrastructures Systems for Manufacturing, Forth Worth, USA, 1998.

[Campbell, 1997] – Alistair Campbell. *Creating the Virtual Organisation and Managing the Distributed Workforce.* University of Paisley, UK, 1997.

[Cardoso e Oliveira, 2000] – Henrique Lopes Cardoso e Eugénio Oliveira. *Using and Evaluating Adaptive Agents for Electronic Commerce Negotiation.* Advances in Artificial Intelligence, editado por Maria C. Monard e Jaime S. Sichman, Springer, pp.96-105, 2000.

[Cardoso e Oliveira, 2000b] – Henrique Lopes Cardoso e Eugénio Oliveira. *Automatic Preference Modelling for Semi-Automated Agent Negotiation.* Submetido a Symposium on Adaptive Agents and Multi-Agent Systems, University of York, UK, 2001.

[Castelfranchi, 1995] - C.Castelfranchi. *Commitments:From individual intentions to groups and organisations*. First International Conference on Multiagent Systems, San Francisco, California, USA, 1995.

[Chavez e Maes, 1996] - Anthony Chavez e Pattie Maes. *Kasbah: An Agent Marketplace for Buying And Selling Goods*. First International Conference on the Pratical Application of Intelligent Agents and Multi-Agent Technology, London, UK, 1996.

[Cohen e Levesque, 1990] - Philip R. Cohen e Hector J. Levesque. *Intention is choice with commitment*. Artificial Intelligence, Vol.42, N°2, pp.213-261, 1990.

[Cole e Gamble, 1997] – David Cole e Rose F. Gamble. *Application of Knowledge Based Systems to Virtual Organizations*. Workshop on Using AI in Electronic Commerce, Virtual Organizations and Enterprise Knowledge Management to Reengineer the Corporation (incluído em Fourteenth National Conference on Artificial Intelligence), Rhode Island, USA, 1997.

[Collins *et al.*, 1998] – John Collins, Scott Jamison, Bamshad Mobasher e Maria Gini. *A Market Architecture for Multi-Agent Contracting*. Second International Conference on Autonomous Agents, Minneapolis, USA, 1998.

[Dastani *et al.*, 2000] – M. Dastani, N. Jacobs, C. Jonker e J. Treur. *Modeling User Preferences and Mediating Agents in Electronic Commerce*. Agent Mediated Electronic Commerce: A European Perspective, Vol. LNAI 1991, Springer, pp.164-198, 2000 (a sair).

[Decker *et al.*, 1997] – Keith Decker, Katia Sycara e Mike Williamson. *Middle- Agents for the Internet*. Fifteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence, Nagoya, Aichi, Japan, 1997.

[Faisst, 1997] - Wolfgang Faisst. *Information Technology as an Enabler of Virtual Enterprises: A Life-cycle-oriented Description*. European Conference on Virtual Enterprises and Network Solutions - New Perspectives on Management, Communication and Information Technology, Paderborn, Germany, 1997.

[Faratin *et al.*, 1998] – Peyman Faratin, Carles Sierra e Nick R. Jennings. *Negotiation Decision Functions for Autonomous Agents*. International Journal of Robotics and Autonomous Systems, Vol. 24, N°3-4, pp.159-182, 1998.

[Farquhar *et al.*, 1996] – A. Farquhar, R. Fikes e J. Rice. *The Ontolingua Server: A Tool for Collaborative Ontology Construction*. Technical Report KSL-96-26, Stanford Knowledge Systems Laboratory, California, USA, 1996.

[Ferstl e Sinz, 1996] - Otto K. Ferstl e Elmar J. Sinz. *Flexible Organizations Through Object-oriented and Transaction-oriented Information Systems*. Third International Conference on Business Informatics, Berlin, Germany, 1997.

[Fielding *et al*, 1998] – Roy T. Fielding, E. James Whitehead, Jr., Kenneth M. Anderson, Gregory A. Bolcer, Peyman Oreizy e Richard N. Taylor. *Web-Based Development of Complex Information Products*. Communications of the ACM, Vol.41, N°8, pp.84-92, 1998.

[Finin *et al*, 1997] – Tim Finin, Yannis Labrou e James Mayfield. *KWML as an agent communication language*. Software Agents, editado por Jeffrey M. Bradshaw, AAAI/MIT Press, 1997.

[Fischer *et al*., 1996] - Klaus Fischer, Jorg P. Muller, Ingo Heimig e August Scheer. *Intelligent Agents in Virtual Enterprises*. First International Conference on the Pratical Application of Intelligent Agents and Multi-Agent Technology, London, UK, 1996.

[Gebauer, 1996] – Judith Gebauer. *Virtual Organizations from an economic perspective*. Fourth European Conference on Information Systems, Lisbon, Portugal, 1996.

[Grefen *et al*., 2000] – Paul Grefen, Karl Aberer, Yigal Hoffner e Heiko Ludwig. *CrossFlow: Cross-Organizational Worflow Management in Dynamic Virtual Enterprises*. Technical Report, Centre for Telematics and Information Technology, University of Twente, The Netherlands, 2000.

[Gruber, 1993] - Tomas R. Gruber. *A Translation Approach to Portable Ontology Specifications*. Knowledge Acquisition, Vol.5, N° 2, pp.199-220, 1993.

[Gupta e Nagi, 1995] – Pramod Gupta e Rakesh Nagi. *Flexible Optimization Framework for Partner Selection in Agile Manufacturing*. Fourth Industrial Engineering Research Conference, Nashville, Tennessee, USA, 1995.

[Guttman e Maes, 1998] – Robert H. Guttman e Pattie Maes. *Cooperative vs. Competitive Multi-Agent Negotiations in Retail Electronic Commerce*. Second International Workshop on Cooperative Information Agents, Paris, France, 1998.

[Guttman *et al*., 1998] – Robert H. Guttman, Alexandros G. Moukas e Pattie Maes. *Agent-mediated Electronic Commerce: A Survey*. Knowledge Engineering Review, Fourth Industrial Engineering Research Conference, Nashville, Tennessee, USA, 1995.

[Hardwick e Spooner, 1998] – Martin Hardwick, David L. Spooner. *STEP Services for Sharing Product Models in a Virtual Enterprise*. Design Engineering Technical Conference, Atlanta, USA, 1998.

[Jagers *et al*., 1998] – H.P.M. Jagers, W. Jansen e G.C.A. Steenbakkers. *Characteristics of virtual organizations*. PrimaVera Working Paper 98-02, Department of Information Management, University of Amsterdam, The Netherlands, 1998.

[Jennings *et al.*, 1996] – N. R. Jennings, P. Faratin, M. J. Johnson, P. O'Brien, M. E. Wiegand. *Using Intelligent Agents to manage Business Processes*. First International Conference on the Practical Application of Intelligent Agents and Multi Agent Technology. London, UK, 1996.

[Jennings *et al.*, 1998] – N. R. Jennings, S. Parsons, P. Noriega e C. Sierra. *On Argumentation-Based Negotiation.* International Workshop on Multi-Agent Systems, Boston, USA, 1998.

[Kaelbling *et al.*, 1996] – Leslie Pack Kaelbling, Michael L. Littman e Andrew W. Moore. *Reinforcement Learning: A Survey*. Journal of Artificial Intelligence Research, Vol.4, pp.237-285, 1996.

[Klein e Langenohl, 1994] - Stefan Klein e Thomas Langenohl. *Electronic Markets: An Introduction*. International Conference on Information and Communications Technologies in Tourism, Innsbruck, Austria, 1994.

[Kuokka *et al.*, 1993] – Daniel R. Kuokka, Jim McGuire, Jay C. Weber, Jay M. Tenenbaum, Thomas R. Gruber e Gregory R. Olsen. *SHADE: Knowledge-Based Technology for the Re-Engineering Problem*. Annual Report, 1993. Documento disponível em http://www-ksl.stanford.edu/knowledge-sharing/papers/shade-overview.html.

[Labrou e Finin, 1997] – Yannis Labrou e Tim Finin. *Semantics and Conversations for an Agent Communication Language*. Readings in Agents, editado por Michael N. Huhns e Munindar P. SinghMorgan Kaufmann Publishers, pp.235242, 1997.

[Ludwig e Hoffner, 1999] – Heiko Ludwig e Yigal Foffner. *Contract-based Cross-Organisational Workflows: The CrossFlow Project.* Workshop on Cross-Organizational Workflow Management and Co-Ordination (incluído em Conference on Work Activities Coordination and Collaboration), San Francisco, USA, 1999.

[Malone *et al*, 1987] – Thomas W. Malone, Joanne Yates e Robert I. Benjamin. *Electronic Markets and Electronic Hierarchies*. Communications of the ACM, Vol.30, Nº6, pp.484-497, 1987.

[Matos e Sierra, 1998] – Noyda Matos e Carles Sierra. *Evolutionary Computing and Negotiating Agents*. Workshop on Agent Mediated Electronic Trading (incluído em Second International Conference on Autonomous Agents), Minneapolis/St. Paul, USA, 1998.

[McAfee e McMillan, 1987] – R. Preston McAfee e John McMillan. *Auctions and Bidding*. Journal of Economic Literature, Vol.25, pp.699-738, 1987.

[Merz *et al.*, 1996] - M.Merz, T. Tu e W. Lamersdorf. *Dynamic Support Service Selection for Business Transactions in Electronic Service Markets*. International Workshop on Trends in Distributed Systems, Aachen, Germany, 1996.

[Neves e Oliveira, 2000] – Maria C. Neves e Eugénio Oliveira. *Arquitectura híbrida, distribuída e adaptável para o controlo de um robô móvel*. Actas del primer Workshop hispano-luso en agentes físicos, Tarragona, Espanha, 2000.

[NIIIP, 1998] – National Industrial Information Infrastructure Protocols Consortium. *NIIIP Reference Architecture: Introduction to NIIIP Concepts,* 1998. Documento disponível em http://www.niiip.org.

[Norman *et al.*, 1998] - Timothy J. Norman, Carles Sierra e Nick R. Jennings. *Rights and commitment in multi-agent agreements*. Third International Conference on Multi-Agent Systems, Paris, France, 1995.

[Oliveira *et al.*, 1997] – Eugénio Oliveira, José M. Fonseca e A. Steiger-Garção. *MACIV: A DAI Based Resource Management System*. Applied Artificial Intelligence Journal, Vol.11, N°6, pp.525-550, 1997.

[Oliveira *et al.*, 1999a] – Eugénio Oliveira, José M. Fonseca e A. Steiger-Garção. *Multi-criteria negotiation on Multi-Agent Systems*. First International Workshop of Central and Eastern Europe on Multi-Agent Systems. St. Petersburg, Russia, 1999.

[Oliveira *et al.*, 1999b] – Eugénio Oliveira, José M. Fonseca, Nick Jennings. *Learning to be competitive in the Market*. American Association of Artificial Intelligence Workshop on Negotiation. Orlando, USA, 1999.

[Oliveira e Rocha, 2000] – Eugénio Oliveira e Ana Paula Rocha. *Agents advanced features for negotiation in Electronic Commerce and Virtual Organisations formation process*. Agent Mediated Electronic Commerce: A European Perspective, LNAI 1991, Springer, pp.77-96, 2000.

[Oliver, 1996] – Jim Oliver. *On Artificial Agents for Negotiation in Electronic Commerce.* Tese de Doutoramento, Wharton School, University of Pennsylvania, USA, 1996.

[Ott e Nastansky, 1997] – Marcus Ott e Ludwig Nastansky. *Modeling Organizational Forms of Virtual Enterprises*. Virtual-Organization.net Newsletter, Vol.1, N°4, September 1997.

[Parsons *et al.*, 1998] – Simon Parsons, Carles Sierra e Nick R. Jennings. *Agents that reason and negotiate by arguing*. Journal of Logic and Computation, Vol.8, N°3, pp.261-292, 1998.

[Parunak, 1997] - H. Van Dyke Parunak. *Technologies for Virtual Enterprises*. Agility Journal, 1997.

[Parunak *et al.*, 1999] - H. Van Dyke Parunak, Allen Ward e John Sauter. *The MarCon Algorithm: A Systematic Market Approach to Distributed Constraint Problems*. Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing Journal, Cambridge University Press, Vol.13, pp.217-234, 1999.

[Peng *et al.*, 1998] – Y. Peng, T. Finin, Y. Labrou, B. Chu, J. Long, W. J. Tolone e A. Boughannam. *A Multi-Agent System for Enterprise Integration*. Third International Conference on Pratical Application of Intelligent Agents and Multi-Agent Technology, London, UK, 1998.

[Rao e Georgeff, 1991] - Anand S. Rao e Michael P. Georgeff. *Modeling Rational Agents within a BDI-architecture*. Second International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning, Cambridge, Massachusetts, USA, 1991.

[Rao e Georgeff, 1995] - Anand S. Rao e Michael P. Georgeff. *BDI Agents: From Theory to Practice*. First International Conference on Multi-Agent Systems, San Francisco, USA, 1995.

[Reid *et al.*, 1996] - R. Leign Reid, K. J. Rogers, Mary E. Johnson e Donald H. Liles. *Engineering the Virtual Enterprise* Fifth Industrial Engineering Research Conference, Minneapolis, USA, 1996.

[Rocha e Oliveira, 1999] – Ana P. Rocha e Eugénio Oliveira. *An Electronic Market Architecture for the Formation of Virtual Enterprises*. Infrastructures for Virtual Enterprises, editado por Luis M. Camarinha-Matos e Hamideh Afsarmanesh, Kluwer Academic Publishers, pp.421-432, 1999.

[Rocha e Oliveira, 2000] – Ana P. Rocha e Eugénio Oliveira. *Adaptive multi-issue negotiation protocol for Electronic Commerce*. Fifth International Conference on The Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agent Technology, Manchester, UK, 2000.

[Rocha e Oliveira, 2001] – Ana P. Rocha e Eugénio Oliveira. *Electronic Institutions as a framework for Agents' Negotiation and mutual Commitment*. Progress in Artificial Intelligence, Lecture Notes in Artificial Intelligence 2258, Ed. P.Brazdil e A.Jorge, Springer, 2001.

[Rodríguez *et al.*, 1997] - Juan A. Rodriguez, Pablo Noriega, Carlos Sierra e Julian Padget. *FM96.5: A Java-based Electronic Auction House*. Second International Conference on the Pratical Application of Intelligent Agents and Multi Agent Technology, London, UK, 1997.

[Rosenschein e Zlotkin, 1994] – Jeffrey S. Rosenschein e Gilad Zlotkin. *Rules of Encounter*. MIT Press, Cambridge, MA, 1994.

[Russell e Norvig, 1995] – Stuart Russell e Peter Norvig. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Prentice Hall, cap.18, 1995.

[Sandholm, 1999] – Tuomas Sandholm. *eMediator: A Next Generation Electronic Commerce Server*. Technical Report WUCS-99-02, Washington University, Department of Computer Science, 1999.

[Sandholm e Lesser, 1995a] – T. W. Sandholm e V. R. Lesser. *Issues in Automated Negotiation and Electronic Commerce: Extending the Contract Net Framework*. First International Conference on Multi-Agent Systems, San Francisco, California, USA, 1995.

[Sandholm e Lesser, 1995b] – T. W. Sandholm e V. R. Lesser. *On Automated Contracting in Multi-Enterprise Manufacturing*. Improving Manufacturing Performance in a Distributed Enterprise: Advanced Systems and Tools, Edinburgh, Scotland, 1995.

[Schmid, 1994] - Beat Schmid. *Electronic Markets on Tourism*. International Conference in Information and Communications Technologies in Tourism, Innsbruck, Austria, 1994.

[Sen *et al.*, 2000] – Sandip Sen, Partha Sarathi Dutta e Rajatish Mukherjee. *Agents that represent buyer's interests in E-commerce*. Workshop on Knowledge-based Electronic Markets (incluído em Seventeenth National Conference on Artificial Intelligence), Austin, Texas, USA, 2000.

[Shmeil, 1999] – Marcos Augusto H. Shmeil. *Sistema Multiagente na Modelação da Estrutura e Relações de Contratação de Organizações*. Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 1999.

[Shmeil e Oliveira, 1997] – M. A. Hochuli Shmeil e E. Oliveira. *The Establishment of Partnerships to Create Virtual Organisations: a MultiAgent Approach*. Re-engineering for Sustainable Industrial Production, editado por Camarinha-Matos, Chapman & Hall, pp.284-294, 1997.

[Sims, 1996] – Oliver Sims. *Enabling the Virtual Enterprise – The Internet provides the infrastructure*. Object Expert magazine, Vol.2, N°1, 1996.

[Smith, 1980] – Reid G. Smith. *The Contract Net Protocol: High-Level Communication and Control in a Distributed Problem Solver*. IEEE Transactions on Computers, Vol.29, N°12, pp.1104-1113, 1980.

[Sriram e Candadai, 1996] – Ram Sriram e Arun Candadai. *Agile Infrastructure for Manufacturing Systems (AIMS) – a pilot program*. Fifth National Agility Forum Conference, Boston, Massachusetts, USA, 1996.

[Stephens *et al.*, 1997] – Jeff Stephens, Alain Zarli, Jorulv Rangnes, Manfred Kothe, Rasso Steinmann e Wim Bakkeren. *Virtual Enterprises using Groupware tools and distributed Architectures*. Esprit Project 20408, Report N°PAR-01, 1997.

[Sutton e Barto, 1998] – R. S. Sutton, A. G. Barto. *Reinforcement Learning: An Introduction*. MIT Press, Cambridge, MA, 1998.

[Tsvetovatyy *et al.*, 1997] - M. Tsvetovatyy, Maria Gini, B. Mobasher e Z. Wieckowski. *MAGMA: An Agent-Based Virtual Market for Electronic Commerce*. Journal of Applied Artificial Intelligence, special issue on Intelligent Agents, Vol.11, N°6, 1997.

[Uschold e Gruninger, 1996] – Mike Uschold e Michel Gruninger. *Ontologies: Principles, Methods and Applications*. Knowledge Engineering Review, Vol.11, N°2, 1996.

[Varian, 1995a] - Hal R. Varian. *Pricing Information Goods*. Research Libraries Group Symposium on Scholarship in the New Information Environment, Harvard Law School, 1995.

[Vinoski, 1997] – Steve Vinoski. *CORBA: Integrating Diverse Applications Within Distributed Heterogeneous Environments*. IEEE Communications Magazine, Vol.14, N°2, Fevereiro 1997.

[Vulkan e Jennings, 1998] Nir Vulkan, Nicholas R. Jennings. *Efficient Mechanisms for the Supply of Services in Multi-Agent Environments*. First International Conference on Information and Computation Economics. Charleston, South Carolina, USA, 1998.

[Yokoo *et al.*, 1992] – Makoto Yokoo, Edmund Durfee, Toru Ishida e Kazuhiro Kuwabara. *Distributed Constraint Satisfaction for Formalizing Distributed Problem Solving*. Twelfth International Conference on Distributed Computing Systems, Yokohama, Japan, 1992.

[Yokoo e Hirayama, 1998] – Makoto Yokoo e Katsutoshi Hirayama. *Distributed Constraint Satisfaction Algorithm for Complex Local Problems*. Third International Conference on Multi-Agent Systems, Paris, France, 1998.

[Watkins e Dayan, 1992] – Christopher J.C.H. Watkins e Peter Dayan. *Q-Learning*. Machine Learning, Vol.8, N°s3/4, pp.279-292, Maio 1992.

[Weiβ, 1996] – Gerhard Weiβ. *Adaptation and Learning in Multi-Agent Systems: Some Remarks and a Bibliography*. Adaption and learning in multi-agent systems, editado por G. Weiβ e S. Sen, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer-Verlag, Vol.1042, pp.1-21, 1996.

[Wooldridge, 1999] - Michael Wooldridge. *Intelligent Agents*. Multiagent Systems: a Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence, editado por Gerhard Weiβ, The MIT Press, pp.27-77, 1999.

[Wooldridge e Jennings, 1994] – Michael J. Wooldridge e Nicholas R. Jennings. *Agent Theories, Architectures, and Languages: A Survey*. Workshop on Agent Theories, Architectures and Languages (incluído em Eleventh European Conference on Artificial Intelligence), Amsterdam, The Netherlands, 1994.

[Wooldridge e Jennings, 1995] - M. Wooldridge e N. R. Jennings. *Intelligent Agents: Theory and Practice*. Knowledge Engineering Review, Vol.10, N°2, pp.115-152, 1995.

[Wurman *et al.*, 1998] – Peter R. Wurman, Michael P. Wellman e William E. Walsh. *The Michigan Internet AuctionBot: A Configurable Auction Server for Human and Software Agents*. International Conference on Autonomous Agents, Minneapolis, St.Paul, USA, 1998.

[Zeng e Sycara, 1996] – Dajun Zeng e Katia Sycara. *Bayesian Learning in Negotiation*. Working Notes of the AAAI Spring Symposium on Adaptation, Co-evaluation and Learning in Multiagent Systems, Stanford, California, USA, 1996.

[Zimmermann, 1997] - Frank-O. Zimmermann. *Structural and Managerial aspects of Virtual Enterprises*. The European Conference on Virtual Enterprises and Network Solutions - New Perspectives on Management, Communication and Information Technology, Paderborn, Germany, 1997.

Referências URL

[Ariba] – *Ariba: Making the net work for B2B*. http://www.ariba.com.

[AuctionBot] - *Michigan Internet AuctionBot*. http://auction.eecs.umich.edu.

[CrossFlow] – *Cross-Organizational Workflow Support in Virtual Enterprises*. Esprit Project 28635, http://www.crossflow.org.

[FreeMarkets] – *FreeMarkets*. http://www.freemarkets.com.

[Frictionless] – *Frictionless Commerce*. http://www.frictionless.com.

[Jango] – *Excite Shopping*. http://www.jango.com.

[JATLite] – *Java Agent Template, Lite.* http://java.stanford.edu.

[NexPrise] -*NexPrise*. http://www.nexprise.com.

[PersonaLogic] – *PersonaLogic*. http://www.personalogic.com.

BIBLIOTECA F.E. PORTO

Anexo A – Especificação da linguagem de comunicação

Neste anexo, apresenta-se a descrição das mensagens trocadas entre os agentes do sistema *ForEV*: o agente Registo, o agente Empresa, o agente Mercado, o agente Mercado Virtual e o agente Empresa Virtual. A linguagem de comunicação adoptada é a linguagem KQML ("Knowledge Query and Manipulation Language"), por ser uma linguagem desenvolvida especificamente para agentes, e actualmente muito bem aceite na comunidade de agentes. As mensagens mais relevantes são descritas nos capítulos respectivos.

Mensagens enviadas do agente Empresa para o agente Registo

ask-about
:sender MyName
:receiver RegName
:reply-with what_components
:content components

ask-about
:sender MyName
:receiver RegName
:reply-with what_attributes
:content (attributes At1 At2 ...)

supply
:sender MyName
:receiver RegName
:content (Cp1 Cp2 ...)

Mensagens enviadas do agente Registo para o agente Empresa

reply
:receiver EName
:reply-to what_components
:content ((C1Name C1Desc At1:At2:...) ,...)

reply
:receiver EName
:reply-to what_attributes
:content ((A1Name A1Type A1Domain V1:V2:...) ,...)

is-demand
:sender MyRouterName
:receiver EAgtName
:routerID (VMAName VMAHost VMAPort)
:registerID (RgName RgHost RgPort)
:content (Cp1 Cp2 ...)

Mensagens enviadas do agente Mercado para o agente Registo

ask-about
:reply-with what_goods
:content goods

ask-about
:reply-with what_components
:content (components Cp1 Cp2 ...)

ask-about
:reply-with what_attributes
:content (attributes At1 At2 ...)

demand
:sender MyName
:receiver RegName
:routerID (RtName RtHost RtPort)
:registerID (RgName RgHost RgPort)
:content (Cp1 Cp2 ...)

Mensagens enviadas do agente Registo para o agente Mercado

reply
:reply-to what_goods
:content ((G1Name G1Desc Cp1:Cp2:...) ,...)

reply
:reply-to what_components
:content ((C1Name C1Desc At1:At2:...) ,...)

reply
:reply-to what_attributes
:content ((A1Name A1Type A1Domain V1:V2:...) ,...)

Mensagens enviadas do agente Mercado Virtual para o agente Empresa Virtual

announcement
:sender VMAName
:for-component CompName
:content (attribute :name At1Name
:values ([(equal V_1)][(between V_1 V_2)][(...)]...))

⋮

eoa
:sender VMAName
:receiver VEAName
:for-component CompName

feedback
:sender VMAName
:receiver VEAName
:reply-to xxx
:content (component :name CompName
:attributes (A_1 A_2 A_3 ...)
:values (V_1 V_2^+ V_3 ...)
:classification (C_1-D_1^* C_2-D_2 C_3-D_3 ...))

feedback
:sender VMAName
:receiver VEAName
:reply-to xxx
:content (component :name CompName
:classification current_winner)

request
:sender VMAName
:receiver VEAName
:reply-to xxx
:content (component :name CompName
:result yes *%or* *no*
:attributes (A_1 A_2 A_3 ...)
:values (V_1 V_2^+ V_3 ...))

mutual-dependency
:sender VMAName
:receiver VEAName
:content (component :name CompName
:attributes (A_1 A_2 A_3 ...)
:values (V_1 V_2^+ V_3 ...)
:proposal-reply xxx)

dependency-to
:sender VMAName
:receiver VEAName
:content (info :component myCompName
:attribute myAttName
:component-dep OcompName
:attribute-dep OAttName
:agent-dep OagtName
:values-dep ([(equal V_1)][(between V_1 V_2)][(...)]...))
⋮

eod
:sender VMAName
:component myCompName

Mensagens enviadas do agente Empresa Virtual para o agente Mercado Virtual

i-am-supplier
:sender VEAName
:for-component CompName
proposal
:sender VEAName
:for-component CompName
:content (attribute :name At1Name
:values (equal V_1) *%or (between V_1 V_2)*
:constraints ($by-value
:myValue (between V_1 V_2) *%or (equal V_X)*
:cCName CComp1Name
:cAtName CAt1Name
:cValues ([(between V_A V_B)][(equal V_C)]...)
:more (repeat $) *%or* end
))
⋮

eop
:sender VEAName
:for-component CompName
:reply-with xxx

Mensagens enviadas do agente Empresa Virtual para o agente Empresa Virtual

ask
:sender VEAName
:receiver VEAName_
:reply-with XXX
:content (du
:component CName
:attribute AName
:values ([(equal V_1)][(between V_1 V_2)][(...)]...)
:send-to (Agt_1 Agt_2 ...)
:related-to ($Comp_1$ $Comp_2$ ...))

tell
:sender VEAName
:receiver VEAName_
:reply-to XXX
:content (du
:value V_x
:related-to CName
:who-ask VEA_s)

dependency-proposal
:sender VEAName
:receiver VEAName_
:reply-with XXX
:content (ComponentName
:myattribute AName
:myvalue V_1
:component CCName
:attribute CAName
:values ([(equal V_1)][(between V_1 V_2)][(...)]...)
:du V_{DU}
:others (Agt_1:Cp_1 Agt_2:Cp_2 ...))

dependency-feedback
:sender VEAName_
:receiver VEAName
:reply-to XXX
:content (CompName
:du XX *%or not_valid*
:in-reply CompNameFor *% optional field*
:for-reply CompNameFor *% optional field*
:wait-for (Agt_1 Agt_2 ...))

```
dependency-reply
:sender VEAName
:receiver VEAName_
:reply-with XXX
:content (ComponentNameFor
            :mycomponent CName
            :myattribute AName
            :myvalue (equal V1)        %or  (between V1 e V2)
            :attribute CAName
            :values ([(equal V1)][(between V1 V2)][(...)]...)
            :du VDU
            :wait-for (Agt1 Agt2 ...) )

dependency-accept
:sender VEAName
:receiver VEAName_
:content (YourCompName
            :mycomponent CName
            :id PropID
            :myrole organizer              % or respondent
            :owner me)                     % or you
```

BIBLIOTECA F.E. PORTO

FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO
BIBLIOTECA
0000060184