

Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação

Um Agente para Leilões Eletrônicos Simultâneos Heterogêneos com Bens Inter-relacionados

Autora: Cynthia Samara de Medeiros Gonzaga
Orientador: Prof. Dr. Fernando Antonio Campos Gomide

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica. Área de concentração: **Engenharia de Computação.**

Banca Examinadora

Prof. Dr. Fernando Antonio Campos Gomide DCA/FEEC/Unicamp
Prof. Dr. Jaime Simão Sichman PCS/EPUSP
Prof. Dr. Rodrigo Almeida Gonçalves CFlex
Prof. Dr. Eleri Cardozo DCA/FEEC/Unicamp

Campinas, SP

Maio/2006

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por: <u>Cynthia Samara de Medeiros Gonzaga</u>	
e aprovada pela Comissão Julgada em <u>11/05/2006</u>	
	Orientador <u>[Assinatura]</u>

UNIDADE BC
 Nº CHAMADA TI UNICAMP
G589a
 V EX
 TOMBO BC/ 71018
 PROC. 16.123-06
 C ☐ D ☒
 PREÇO 4,00
 DATA 20/12/06
 ID: 395068

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
 BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

G589a

Gonzaga, Cynthia Samara de Medeiros
 Um agente para leilões eletrônicos simultâneos
 heterogêneos com bens inter-relacionados / Cynthia Samara
 de Medeiros Gonzaga. --Campinas, SP: [s.n.], 2006.

Orientador: Fernando Antonio Campos Gomide
 Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de
 Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de
 Computação.

1. Leilões. 2. Algoritmos genéticos. 3. Sistemas difusos.
 I. Gomide, Fernando Antonio Campos. II. Universidade
 Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Elétrica e
 de Computação. III. Título.

Título em Inglês: An agent for electronic simultaneous heterogeneous auctions with inter-related goods

Palavras-chave em Inglês: Agents, Auctions, Electronic simultaneous heterogeneous auctions with inter-related goods, Trading agent competition-classic, Genetic fuzzy systems

Área de concentração: Engenharia de Computação

Titulação: Mestre em Engenharia Elétrica

Banca examinadora: Jaime Simão Sichman, Rodrigo Almeida Gonçalves e Eleri Cardozo

Data da defesa: 11/05/2006

Resumo

Agentes computacionais têm um papel importante no comércio eletrônico, pois permitem um melhor aproveitamento de negociações e aumentam o grau de automação do mercado eletrônico. Agentes podem interagir entre si para atingir seus objetivos. Leilões fornecem mecanismos simples de interação e negociação entre agentes e, com o advento da Internet, estão se tornando um veículo eficaz para a realização de negociações eletrônicas intermediadas por agentes. Destaca-se nesse contexto o desenvolvimento de agentes para atuar em leilões eletrônicos simultâneos heterogêneos com bens inter-relacionados. Participar de múltiplos leilões simultaneamente traz a vantagem de permitir, por exemplo, que um agente possa monitorar preços de vários leilões e realizar o negócio naquele que se mostrar mais lucrativo. Além disso, muitas vezes a compra de bens individuais pode não fazer sentido. É o caso, por exemplo, de passagens aéreas e diárias de hotel em agências de viagem; a compra de um bem só se justifica diante da presença do outro. Com o intuito de promover e encorajar pesquisas na área de agentes atuando em leilões eletrônicos simultâneos heterogêneos com bens inter-relacionados criou-se uma competição, o *Trading Agent Competition-Classic* (TAC-Classic). O TAC-Classic simula uma agência de viagem onde os agentes (participantes da competição) têm o objetivo de propor pacotes de viagem. Os bens são negociados em leilões simultâneos heterogêneos. Esta dissertação versa sobre o agente *e-Agent*, um dos finalistas do TAC-Classic 2005. O *e-Agent* utiliza técnicas de inteligência computacional em seus algoritmos de tomada de decisão. A determinação dos bens a serem comprados é realizada através de um modelo de programação linear inteira. A determinação dos valores dos lances a serem realizados é baseada em um método de previsão que determina a tendência dos valores em uma série temporal, um sistema baseado em regras *fuzzy* do tipo Takagi-Sugeno otimizado via um algoritmo genético e procedimentos heurísticos. A arquitetura, as estratégias de decisão e a participação do *e-Agent* na competição são detalhadas e discutidas nesta dissertação.

Palavras-chave: Agentes, Leilões, Leilões Eletrônicos Simultâneos Heterogêneos com Bens Inter-relacionados, *Trading Agent Competition-Classic*, Sistemas Genético-Fuzzy.

2006 359 23

Abstract

Software agents play an important role in the electronic commerce because they allow negotiation and increase the degree of automation. To reach their goals, agents interact to communicate, negotiate and decide. Auctions provide a means for interaction and decision of agents especially within the Internet environment. In this context, development of agents to act in electronic simultaneous heterogeneous auctions with inter-related goods is a major issue. It is convenient for an agent to monitor multiple auctions because it increases chances and opportunities to do better deals. For example, it can compare multiple auctions prices in real time and make a bid for the cheapest one. Moreover, often it may not be meaningful to buy individual goods. This is, for example, the case of airline ticket and hotel reservation in many travel agencies; here to buy of one good may only is justified with the presence other. To promote and encourage high quality research in the area of agents acting in electronic simultaneous heterogeneous auctions with inter-related goods, a market game, namely the Trading Agent Competition-Classic (TAC-Classic), was created. The TAC-Classic simulates a travel agency scenario where agents (entrants to the competition) have the goal of assembling travel packages for their customers. The goods are traded in simultaneous heterogeneous auctions. This dissertation introduces e-Agent agent, a finalist in TAC-Classic 2005. The e-Agent uses decision-making mechanisms based on computational intelligence techniques and integer linear programming to determine the goods to be purchased. Before deciding on bid values, the agent uses a Takagi-Sugeno prediction model optimized by a genetic algorithm and heuristic procedures to compute tendencies of time series. The dissertation details the e-Agent architecture, its decision-making strategies, and reports on its performance during TAC-Classic 2005.

Keywords: Agents, Auctions, Electronic Simultaneous Heterogeneous Auctions with Inter-related Goods, Trading Agent Competition-Classic, Genetic Fuzzy Systems.

*A Luiz, Maria da Guia e Milena Gonzaga
e Anderson Medeiros.*

Agradecimentos

A Deus pelo dom do aprendizado e da vida.

A meus pais Luiz e Maria da Guia Gonzaga pelo amor e apoio incondicionais.

A minha irmã Milena Carla por sua alegria sempre constante e seu apoio.

A Anderson por todo seu companheirismo, incentivo, ajuda e amor.

A meu orientador Fernando Gomide pela oportunidade concedida.

À CAPES pelo apoio financeiro.

A meus amigos Maria Cláudia, Marcelo, Francisco, Ricardo, Patrícia, Leticia, Adriane, Rachel, Marina, Igor e Gisele por suas palavras de estímulo.

A todos os familiares e amigos que torceram e rezaram por mim.

Sumário

Lista de Figuras	xv
Lista de Tabelas	xix
Lista de Siglas e Abreviações	xxi
1 Introdução	1
1.1 Relevância	1
1.2 Motivação	2
1.3 Objetivos	3
1.4 Organização do Trabalho	3
2 Agentes Computacionais	5
2.1 Definição	5
2.2 Programas de Agentes	7
2.3 Sistemas Multi-Agentes	8
2.3.1 Negociação	9
2.4 Aplicações da Tecnologia de Agentes	11
2.5 Comércio Eletrônico	11
2.5.1 Agentes no Comércio Eletrônico	12
2.5.2 Modelo CBB - <i>Consumer Buying Behaviour</i>	12
2.6 Resumo	14
3 Leilões	15
3.1 Definição	15
3.2 Importância e Aplicabilidade	15
3.3 Protocolos e Estratégias de Leilões	16
3.3.1 Leilão Inglês	16

3.3.2	Leilão Primeiro Preço	17
3.3.3	Leilão Holandês	17
3.3.4	Leilão <i>Vickrey</i>	17
3.3.5	Leilão Duplo ou CDA	17
3.4	Leilões Eletrônicos Intermediados por Agentes	18
3.5	Agentes em Leilões Eletrônicos Simultâneos	19
3.6	Agentes em Leilões Eletrônicos Simultâneos Heterogêneos com Bens Inter-relacionados	20
3.7	<i>Trading Agent Competition</i>	21
3.8	Resumo	21
4	TAC-Classic	23
4.1	Descrição	23
4.2	Bens e Modos de Negociação no TAC-Classic	24
4.2.1	Passagem Aérea ou Vôo	25
4.2.2	Hotel	26
4.2.3	Ingressos de Lazer	28
4.3	Função Utilidade	30
4.4	Plataforma de execução do ambiente TAC-Classic: Estrutura e Comunicação	33
4.5	Ferramenta de Desenvolvimento de Agentes para o TAC- Classic	33
4.6	Uma Estratégia para o TAC-Classic: Um desafio	34
4.7	Agentes no TAC-Classic	36
4.7.1	Agente ATTac - 2001	36
4.7.2	Agente WhiteBear - 2002	37
4.7.3	Agente SouthamptonTAC - 2002	37
4.7.4	Agente Thalís - 2002	38
4.7.5	Agente UMBCTac - 2002	38
4.7.6	Agente Walverine - 2002	39
4.7.7	Agente LearnAgents - 2004	39
4.7.8	Agente Mertacor - 2005	40
4.8	Resumo	40
5	Projeto de um Agente para o TAC-Classic	43
5.1	Procedimentos Gerais	43
5.1.1	Decidir quais bens e em quais quantidades realizar lances	44

5.1.2	Decidir o valor de um lance	44
5.1.3	Decidir o momento certo de se realizar um lance	45
5.2	Visão Geral do agente de viagem <i>e-Agent</i>	46
5.3	Generalização da Arquitetura	49
5.4	Resumo	50
6	Estratégia para o TAC-Classic: Leilão de Vão	51
6.1	Características	51
6.2	Categorias do leilão de vão	52
6.2.1	Categoria de leilão de vão 1	52
6.2.2	Categoria de leilão de vão 2	53
6.2.3	Categoria de leilão de vão 3	54
6.3	Vetor de Perturbações Médias	55
6.4	Identificação da Categoria do Leilão de Vão Durante o Jogo	57
6.5	Momento de Comprar Vãos	58
6.6	Resumo	59
7	Estratégia para o TAC-Classic: Leilão de Hotel	61
7.1	Sistemas Genético-Fuzzy	61
7.1.1	Algoritmos Genéticos	62
7.1.2	Sistemas Fuzzy	63
7.1.3	Sintonia de Modelos Fuzzy	66
7.2	Agente SouthamptonTAC	67
7.2.1	Reconhecimento do Ambiente TAC-Classic	68
7.2.2	Previsão de Lances para os Leilões de Hotel: Um Sistema Fuzzy	68
7.3	Um Sistema Genético-Fuzzy para o Leilão de Hotel	71
7.3.1	Dados de Treinamento	73
7.3.2	Representação Cromossômica	75
7.3.3	Inicialização da População	76
7.3.4	Operador de Seleção	77
7.3.5	Função de <i>Fitness</i>	77
7.3.6	Operadores de Reprodução	78
7.3.7	Resultados	79
7.4	Lances para o Leilão de Hotel	81
7.4.1	Previsão para o Primeiro Minuto de Jogo	81
7.4.2	Previsão para o Segundo Minuto em Diante	81

7.4.3	Retirada de Lances Não-Lucrativos	81
7.4.4	Ajustes nos Lances do Leilão de Hotel	82
7.5	Resumo	82
8	Estratégia para o TAC-Classic: Leilão de Ingresso de Lazer	83
8.1	Precauções no Leilão de Ingresso de Lazer	83
8.2	Lances para o Leilão de Ingresso de Lazer	84
8.2.1	Venda de Ingressos	84
8.2.2	Compra de Ingressos	85
8.3	Resumo	85
9	Estratégia para o TAC-Classic: Alocador	87
9.1	Alocador	87
9.2	Resumo	89
10	Resultados	91
10.1	Participantes do TAC-Classic 2005	91
10.2	Etapa <i>Qualifying</i>	92
10.2.1	Resultados	92
10.3	Etapa <i>Seeding</i>	94
10.3.1	Resultados	95
10.4	Etapa <i>Semi-finals</i>	97
10.4.1	Resultados	97
10.5	Etapa <i>Finals</i>	98
10.5.1	Resultados	98
10.6	Análise Geral	100
10.7	Resumo	102
11	Conclusão	103
	Referências Bibliográficas	106
A	Resultados do Sistema Genético-Fuzzy	113
B	Modelo de Otimização Utilizado pelo Alocador	123

Lista de Figuras

2.1	Um agente em seu ambiente.	6
2.2	Diferentes maneiras de um agente coordenar suas atividades.	8
2.3	Espaço de negociação.	10
2.4	Variando o grau de automação delegado a um agente.	13
4.1	Ambiente TAC-Classic: cada agente deve participar de leilões simultâneos para conseguir vôos, hotéis e ingressos de lazer para seus clientes.	24
4.2	Servidor TAC-Classic.	35
5.1	Arquitetura do agente <i>e-Agent</i>	47
5.2	Generalização da Arquitetura.	49
6.1	Função $f(x, t)$ com a variável $x \in [-10, -1]$	52
6.2	Função $f(x, t)$ com a variável $x \in [0, 9]$	53
6.3	Função $f(x, t)$ com a variável $x \in [10, 30]$	54
7.1	Função de pertinência trapezoidal.	64
7.2	Funções de pertinência da variável lingüística A_x	69
7.3	Funções de pertinência das variáveis lingüísticas P e $\bar{P}$	70
7.4	Funções de pertinência das variáveis lingüísticas VP e $\bar{VP}$	71
7.5	Genótipo de três funções de pertinência trapezoidais cuja representação se baseia no conceito de posições relativas.	75
7.6	Fenótipo de três funções de pertinência trapezoidais cuja representação se baseia no conceito de posições relativas.	75
7.7	Representação cromossômica das funções de pertinência das variáveis lingüísticas P e $\bar{P}$ e VP e $\bar{VP}$ e dos conseqüentes das regras.	76
10.1	Desempenho do agente <i>e-Agent</i> na etapa <i>Qualifying</i>	94
10.2	Desempenho do agente <i>e-Agent</i> na etapa <i>Seeding</i>	96

10.3	Desempenho do agente <i>e-Agent</i> na etapa <i>Semi-finals</i>	98
10.4	Desempenho do agente <i>e-Agent</i> na etapa <i>Finals</i> (servidor tac1).	99
10.5	Desempenho do agente <i>e-Agent</i> na etapa <i>Finals</i> (servidor tac2).	99
10.6	Distribuição dos jogos do agente <i>e-Agent</i> ao longo das etapas.	101
10.7	Evolução das pontuações dos 8 agentes finalistas ao longo das etapas.	102
A.1	Funções de pertinência das variáveis lingüísticas P e $\bar{P}$ no sistema <i>SFO</i> para a base de regras AA, ambiente não-competitivo.	114
A.2	Funções de pertinência das variáveis lingüísticas VP e $\overline{VP}$ no sistema <i>SFO</i> para a base de regras AA, Ambiente Não-Competitivo.	114
A.3	Funções de pertinência das variáveis lingüísticas P e $\bar{P}$ no sistema <i>SFO</i> para a base de regras AA, ambiente semi-competitivo.	115
A.4	Funções de pertinência das variáveis lingüísticas VP e $\overline{VP}$ no sistema <i>SFO</i> para a base de regras AA, ambiente semi-competitivo.	115
A.5	Funções de pertinência das variáveis lingüísticas P e $\bar{P}$ no sistema <i>SFO</i> para a base de regras AA, ambiente competitivo.	116
A.6	Funções de pertinência das variáveis lingüísticas VP e $\overline{VP}$ no sistema <i>SFO</i> para a base de regras AA, ambiente competitivo.	116
A.7	Funções de pertinência das variáveis lingüísticas P e $\bar{P}$ no sistema <i>SFO</i> para a base de regras AT, ambiente não-competitivo.	117
A.8	Funções de pertinência das variáveis lingüísticas VP e $\overline{VP}$ no sistema <i>SFO</i> para a base de regras AT, ambiente não-competitivo.	117
A.9	Funções de pertinência das variáveis lingüísticas P e $\bar{P}$ no sistema <i>SFO</i> para a base de regras AT, ambiente semi-competitivo.	118
A.10	Funções de pertinência das variáveis lingüísticas VP e $\overline{VP}$ no sistema <i>SFO</i> para a base de regras AT, ambiente semi-competitivo.	118
A.11	Funções de pertinência das variáveis lingüísticas P e $\bar{P}$ no sistema <i>SFO</i> para a base de regras AT, ambiente competitivo.	119
A.12	Funções de pertinência das variáveis lingüísticas VP e $\overline{VP}$ no sistema <i>SFO</i> para a base de regras AT, ambiente competitivo.	119
A.13	Funções de pertinência das variáveis lingüísticas P e $\bar{P}$ no sistema <i>SFO</i> para a base de regras TTs, ambiente não-competitivo.	120
A.14	Funções de pertinência das variáveis lingüísticas VP e $\overline{VP}$ no sistema <i>SFO</i> para a base de regras TTs, ambiente não-competitivo.	120
A.15	Funções de pertinência das variáveis lingüísticas P e $\bar{P}$ no sistema <i>SFO</i> para a base de regras TTs, ambiente semi-competitivo.	121

A.16 Funções de pertinência das variáveis lingüísticas VP e $\overline{VP}$ no sistema SFO base de regras TTs, ambiente semi-competitivo.	121
A.17 Funções de pertinência das variáveis lingüísticas P e $\overline{P}$ no sistema SFO para a base de regras TTs, ambiente competitivo.	122
A.18 Funções de pertinência das variáveis lingüísticas VP e $\overline{VP}$ no sistema SFO para a base de regras TTs, ambiente competitivo.	122

Lista de Tabelas

4.1	Carteira de preferências de clientes do agente <i>e-Agent</i> no jogo 28156, TAC-Classic 2005.	31
4.2	Bens possuídos pelo agente <i>e-Agent</i> ao fim do jogo 28156, TAC-Classic 2005.	33
4.3	Bens possuídos pelo agente <i>e-Agent</i> ao fim do jogo 28156, TAC-Classic 2005.	34
7.1	Conseqüentes das regras no modelo <i>fuzzy</i> utilizado pelo agente SouthamptonTAC. . .	70
7.2	Base de regra para o caso AA.	72
7.3	Base de regra para o caso AT.	72
7.4	Base de regra para o caso TTs.	73
7.5	Parâmetros utilizados no algoritmo genético.	80
7.6	Resultados obtidos com os sistemas <i>SF</i> e <i>SFO</i> para um mesmo conjunto de dados. .	80
8.1	Ofertas de venda em função do tempo.	84
8.2	Porcentagem considerada na compra de ingressos em função do tempo.	85
9.1	Saída do Alocador.	88
10.1	Agentes participantes do TAC-Classic 2005.	92
10.2	Pontuações dos agentes na etapa <i>Qualifying</i>	93
10.3	Pontuações dos agentes na etapa <i>Seeding</i>	95
10.4	Pontuações dos agentes na etapa <i>Semi-finals</i>	97
10.5	Pontuações dos agentes na etapa <i>Finals</i>	100
10.6	Distribuição dos jogos do agente <i>e-Agent</i> ao longo das etapas.	100
A.1	Os conseqüentes das regras do sistema <i>SFO</i>	113

Lista de Siglas e Abreviações

AA	Ambos Abertos
AAr	Actual Arrive
AG	Algoritmos Genéticos
AP	Amusement Park
AT	Acabou de Terminar
AW	Aligator Wrestling
B2B	Business-to-Business
B2C	Business-to-Consumer
BR	Base de Regras
C2B	Consumer-to-Business
C2C	Consumer-to-Consumer
CBB	Consumer Buying Behaviour
CDA	Continuous Double Auction
DD	Actual Departure
EQM	Erro Quadrático Médio
FIPA	Foundation for Intelligent Physical Agents
FP	Função de Pertinência
GFS	Genetic Fuzzy Systems

HP	Hotel Premium
KIF	Knowledge Interchange Format
KQML	Knowledge Query and Manipulation Language
MU	Museum
PA	Preferred Arrival
PD	Preferred Departure
PLI	Programação Linear Inteira
SCM	Supply Chain Management
SFBR	Sistemas Fuzzy Baseados em Regras
SGFBR	Sistemas Genético Fuzzy Baseados em Regras
SICS	Swedish Institute of Computer Science
SS	Shoreline Shanties
TAC	Trading Agent Competition
TS	Takagi-Sugeno
TT	Tampa Towers
TTs	Terminou há Tempos
VPM	Vetor de Perturbações Médias
VVC	Vetor de Variação de Cotações

Capítulo 1

Introdução

No comércio eletrônico, agentes podem ser usados para representar seus usuários e intermediar a compra e venda de bens. Para realizar esta tarefa é necessário que agentes possam interagir entre si. Um mecanismo de interação é o leilão.

De modo geral, um leilão intermediado por agentes ocorre entre um agente leiloeiro (*auctioneer*) e uma coleção de agentes interessados em oferecer lances para se obter o bem leilado (*bidders*). Através do leilão o agente leiloeiro objetiva a alocação ótima de um bem para um dos demais agentes. Na maior parte dos casos, o agente leiloeiro deseja maximizar o preço pelo qual o bem é alocado, enquanto os demais agentes desejam minimizar seu valor. O agente leiloeiro estabelece seu objetivo através da escolha do tipo de leilão mais apropriado para o seu contexto, enquanto os demais agentes objetivam atingir suas metas através de estratégias de decisão que estão sujeitas às regras do leilão (Wooldridge, 2002).

Exemplos de leilão incluem o Inglês, Primeiro Preço, Holandês, *Vickrey* e o Duplo (Weiss, 1999; He et al., 2003).

1.1 Relevância

Merece destaque o crescimento, tanto em quantidade como em importância, dos leilões eletrônicos - leilões realizados via Internet (Krishna, 2002). A Internet popularizou o uso de leilões, fazendo com que eles se tornassem mais acessíveis para a sociedade em geral. Uma das razões pelas quais leilões eletrônicos se tornaram populares é que eles permitem mecanismos simples de interação. Portanto, é fácil automatizá-los, fazendo com que eles se tornem um mecanismo adequado para agentes interagirem com o intuito de chegarem a um acordo. Além da simplicidade, leilões apresentam uma coleção rica de problemas para pesquisa e constituem uma ferramenta importante para alocar bens, tarefas e recursos (Wooldridge, 2002).

O desenvolvimento de agentes para atuar em leilões eletrônicos é uma das aplicações mais relevantes dentro da tecnologia corrente de agentes (Wurman, 2001). O papel do agente em leilões eletrônicos é o de representar seus usuários, incluindo análise de mercado, monitoração de leilões, escolha dos leilões para se realizar ofertas, e decidir quando e por quanto uma oferta deve ser feita para fazer o melhor negócio (He et al., 2003).

Agentes em leilões eletrônicos são discutidos na literatura para os casos de leilões isolados e simultâneos. Embora os trabalhos no primeiro caso sejam importantes, a tendência é que a pesquisa se concentre no segundo. Isso ocorre porque o mercado fica mais atrativo já que agentes monitoram, comparam e combinam uma grande quantidade de leilões, fazendo com que seus usuários obtenham um melhor resultado advindo destas negociações. (Castro, 2003; Preist et al., 2001b).

Leilões simultâneos podem ser similares ou heterogêneos e oferecerem um único ou diversos bens (inter-relacionados ou não). A relevância de se desenvolver agentes para atuar em leilões com bens inter-relacionados é que, em muitas circunstâncias, a compra de bens isolados pode não fazer sentido. Por exemplo, no caso de uma passagem aérea e uma diária de hotel, a compra de uma delas só se justifica diante da presença da outra. O desenvolvimento de um agente para atuar neste cenário traz alguns desafios. O agente deverá ser capaz, dentre outras coisas, de adquirir os bens na quantidade exata, lidar com leilões heterogêneos e considerar a interdependência entre os bens.

1.2 Motivação

Com o intuito de promover e encorajar pesquisas na área de agentes atuando em leilões simultâneos heterogêneos com bens inter-relacionados foi criada uma competição entre agentes negociadores, o *Trading Agent Competition* - TAC, versão *Classic*. Esta competição foi elaborada de modo a ser desafiadora, apresentando dificuldades próximas àquelas encontradas no dia-a-dia nos leilões eletrônicos reais (Wellman et al., 2001). O TAC-*Classic* simula um ambiente de agência de viagem onde agentes negociadores têm como meta obter pacotes de viagens para seus clientes. Um pacote de viagem inclui passagens de ida e volta, reservas em hotel e eventos de lazer durante a temporada em que o cliente estiver viajando. Os bens (passagem aérea, quarto de hotel, ingresso de lazer) são negociados em leilões simultâneos heterogêneos. Embora o TAC-*Classic* seja restrito a um mercado de agência de viagem, as soluções propostas e avaliadas dentro de seu ambiente podem ser estendidas a outros domínios.

1.3 Objetivos

O objetivo desta dissertação é o de desenvolver um agente para atuar em leilões eletrônicos simultâneos heterogêneos com bens inter-relacionados. Uma vez que o TAC-Classic retrata este cenário, ele foi escolhido como estudo de caso. O agente desenvolvido recebeu o nome de *e-Agent*. Para atuar no TAC-Classic, *e-Agent* foi projetado de modo a apresentar estratégias específicas para atuar em cada um de seus leilões, bem como manusear a interdependência entre os bens por eles oferecidos (Gonzaga and Gomide, 2006). Avaliou-se o desempenho do agente *e-Agent* durante a competição oficial TAC-Classic ocorrida em Julho/Agosto de 2005. Nesta competição estiveram presentes 11 agentes desenvolvidos por diversas instituições de pesquisa e ensino do país e do exterior.

1.4 Organização do Trabalho

A dissertação está organizada da seguinte forma. Após essa introdução o Capítulo 2 descreve o conceito de agente, aborda conceitos relacionados a essa tecnologia e apresenta algumas aplicações nesta área, dentre elas o comércio eletrônico. O Capítulo 3 apresenta os tipos principais de leilões. É ressaltado o uso de agentes em leilões eletrônicos, destacando os leilões eletrônicos simultâneos com bens inter-relacionados. O Capítulo 4 descreve o ambiente TAC-Classic. Discute-se porque desenvolver agentes para atuar no cenário TAC-Classic é um desafio. As estratégias de alguns agentes que já participaram de competições passadas são explicitadas. O Capítulo 5 apresenta o agente *e-Agent* e fornece uma visão geral dos módulos que o compõem. Os Capítulos 6, 7 e 8 descrevem, respectivamente, a estratégia utilizada pelo agente *e-Agent* nos leilões de voo, hotel e ingressos de lazer. O Capítulo 9 apresenta a estratégia desenvolvida para o agente *e-Agent* identificar quais voos e quartos de hotel comprar. O Capítulo 10 descreve a participação do agente *e-Agent* na competição oficial TAC-Classic 2005. Após uma breve apresentação dos participantes descreve-se as etapas que constituem a competição, as melhorias que foram implementadas no agente *e-Agent* e como estas melhorias influenciaram os resultados desse agente em cada etapa. A seguir, faz-se uma análise global do desempenho do agente. Finalmente, o Capítulo 11 conclui o trabalho, resumindo suas contribuições e sugerindo perspectivas para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Agentes Computacionais

Este capítulo descreve o conceito de agente computacional, ou simplesmente, agente e aborda conceitos relacionados a essa tecnologia. Em especial, enfatiza-se o conceito de sistemas multi-agentes interagindo através de negociação. Por fim, são apresentadas algumas aplicações na área de agentes, dentre elas o Comércio Eletrônico.

O uso de agentes fez com que o Comércio Eletrônico se tornasse mais dinâmico, personalizado e sensível ao contexto (He et al., 2003). Agentes podem ser utilizados para representar interessados em compras, assim como em vendas. Uma das maneiras de agentes compradores interagirem com agentes vendedores se dá por intermédio de leilões.

2.1 Definição

Não há uma definição universalmente aceita sobre o que é um agente computacional, ou simplesmente agente, existindo desse modo muito debate e controvérsia a seu respeito. Enquanto existe um consenso geral de que autonomia é imprescindível para a caracterização de um agente, não há muita concordância em relação a outros atributos. Parte desta dificuldade decorre do fato de que os atributos associados a agentes são de importâncias diferentes para domínios diferentes. Portanto, para algumas aplicações, a habilidade dos agentes aprenderem através de experiências passadas é de importância vital; para outras aplicações, o aprendizado além de não ser importante é indesejável (Weiss, 1999).

No contexto desta dissertação, um agente é um programa computacional que age com flexibilidade em nome de seu usuário para alcançar seus objetivos (He et al., 2003). Ele percebe o ambiente no qual está situado por meio de sensores e age sobre este por intermédio de atuadores (Russel and Norvig, 2003).

Ser flexível significa que o agente deve apresentar as seguintes propriedades:

- Reatividade: capacidade de responder apropriadamente as circunstâncias prevalentes em ambientes dinâmicos e imprevisíveis;
- Iniciativa: capacidade de agir com iniciativa de forma que os objetivos de seu usuário sejam alcançados;
- Habilidade social: capacidade de interagir com outros agentes.

Além disso, o agente deve ser autônomo, ou seja, deve tomar decisões sobre quais ações tomar sem constantemente se referir a seu usuário.

A Figura 2.1 ilustra de modo abstrato um agente (Russel and Norvig, 2003).

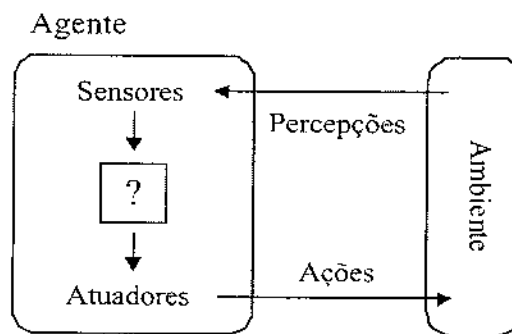


Figura 2.1: Um agente em seu ambiente.

Na Figura 2.1, o termo percepção é usado para fazer referência às entradas perceptivas do agente em qualquer instante de tempo. A seqüência de percepções do agente é a história de tudo que ele já percebeu. Em geral, a escolha de uma ação por parte dele em qualquer instante de tempo pode depender da seqüência inteira de percepções observadas até o momento.

Em termos formais, o comportamento de um agente é descrito pela **função de agente** que mapeia qualquer seqüência de percepções específica em uma ação. A função de agente é implementada por um **programa de agente**. Enquanto a primeira é uma descrição formal abstrata; o segundo é uma implementação concreta, relacionada à arquitetura do agente. Uma outra diferença entre ambos é que enquanto o programa de agente toma apenas a percepção atual como entrada, a função de agente recebe o histórico de percepções completo. O programa de agente toma apenas a percepção atual como entrada; se as ações do agente dependerem da seqüência de percepções inteira, o agente terá de memorizar as percepções.

O sucesso de um agente é avaliado através de uma medida de desempenho. Quando um agente é inserido em um ambiente, ele gera uma seqüência de ações, de acordo com as percepções que recebe.

Essa sequência de ações faz o ambiente passar por uma sequência de estados. Quanto mais desejável for essa sequência, maior será o sucesso do agente (Russel and Norvig, 2003).

2.2 Programas de Agentes

Existem quatro tipos básicos de programas de agentes (Russel and Norvig, 2003):

- Agentes Reativos Simples

Esses agentes selecionam ações com base na percepção atual, ignorando o restante do histórico de percepções. Os agentes reativos simples têm a admirável propriedade de serem simples, mas se caracterizam por ter inteligência muito limitada.

- Agentes Reativos Baseados em Modelos

O modo mais efetivo de lidar com a possibilidade de observação parcial é o agente controlar a parte do mundo que ele não pode ver. Isto é, o agente deve manter algum tipo de estado interno que dependa do histórico de percepções e assim reflita pelo menos alguns dos aspectos não-observados do estado atual. A atualização das informações internas do estado à medida que o tempo passa exige que o agente tenha conhecimento de como o mundo evolui independentemente dele mesmo e de como as suas próprias ações afetam o mundo. Esse conhecimento de “como o mundo funciona” é chamado de modelo do mundo. Um agente que usa tal modelo denomina-se agente baseado em modelo.

- Agentes Baseados em Objetivos

Conhecer o estado atual do ambiente nem sempre é suficiente para se decidir o que fazer. Da mesma forma que o agente precisa de uma descrição do estado atual, ele também precisa de alguma espécie de informação sobre objetivos que descrevam situações desejáveis. O programa de agente pode combinar isso com informações sobre os resultados de ações possíveis, a fim de escolher ações que alcancem o objetivo.

- Agentes Baseados na Utilidade

Nem sempre os objetivos são realmente suficientes para gerar um comportamento de qualidade na maioria dos ambientes. Os objetivos simplesmente permitem uma distinção binária entre “estados felizes” e “estados infelizes”, enquanto uma medida de desempenho mais geral deve permitir uma comparação entre diferentes estados do mundo, de acordo com a utilidade que proporcionariam ao agente se pudessem ser alcançados. A esta medida de desempenho dá-se

o nome de função de utilidade. Agentes baseados na utilidade utilizam um modelo de mundo juntamente com uma função de utilidade que mede suas preferências entre estados do mundo.

2.3 Sistemas Multi-Agentes

Agentes podem ser eficientes no intuito de alcançar os objetivos de seus usuários agindo sozinhos em algum ambiente. Entretanto, agentes usualmente existem em ambientes que requerem ou envolvem múltiplos agentes. Nestes sistemas multi-agentes, o comportamento global deriva da interação entre os agentes (Zambonelli et al., 2003).

Agentes interagem entre si tanto para alcançar um objetivo comum como para atingir objetivos individuais (Wooldridge and Jennings, 1995). Para esta interação ser eficiente, faz-se necessário um ambiente que forneça uma infraestrutura computacional. Esta incluirá protocolos para agentes se comunicarem e para interagirem. Protocolos de comunicação fornecem mecanismos para os agentes trocarem e entenderem mensagens. Já os protocolos de interação fornecem mecanismos para eles negociarem e cooperarem. Alguns exemplos de protocolos de comunicação são o *Knowledge Query and Manipulation Language* (KQML), *Knowledge Interchange Format* (KIF) e *Foundation for Intelligent Physical Agents* (FIPA) (Weiss, 1999).

Uma propriedade importante em um sistema de agentes que executa alguma atividade em um ambiente distribuído é a coordenação. A Figura 2.2 mostra diferentes maneiras pelas quais agentes podem coordenar suas atividades. Nesta figura, cooperação é coordenação entre agentes não antagônicos. Já a negociação é coordenação entre agentes competitivos ou de interesses próprios. Para a cooperação ser satisfatória, faz-se necessário que cada agente mantenha um modelo dos outros agentes e desenvolva um modelo de interações futuras. É importante ressaltar que em um sistema multi-agente não deve existir um controle centralizado.

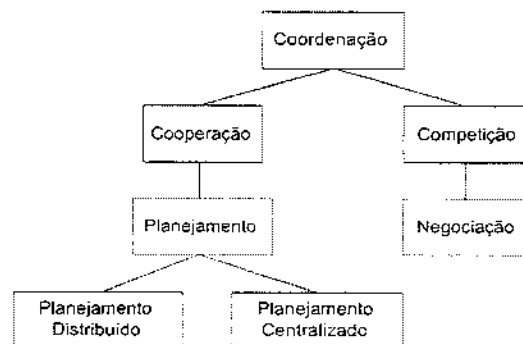


Figura 2.2: Diferentes maneiras de um agente coordenar suas atividades.

Vários protocolos de interação têm sido desenvolvidos. Quando os agentes têm objetivos em comum, o objetivo do protocolo é manter globalmente um desempenho coerente. Exemplos de protocolos para solucionar o problema de cooperação entre agentes são o *Contract Net* e o *Blackboard Systems* (Weiss, 1999). Por outro lado, quando os agentes têm objetivos antagônicos o objetivo do protocolo é maximizar a utilidade deles. A próxima seção discorre sobre negociação, que é uma forma de interação que ocorre entre agentes com metas diferentes, e protocolos apropriados para esse contexto.

2.3.1 Negociação

Na negociação intermediada por agentes, estes fazem ofertas e avaliam as recebidas no lugar das partes em que eles representam com o objetivo de obter o melhor benefício possível para seus usuários. Eles fazem isso de acordo com alguma estratégia de negociação que indicará a seqüência de ações a serem tomadas durante o processo (Lomuscio et al., 2003). Tais estratégias são determinadas pelo protocolo de negociação que governa a interação (He et al., 2003). Este protocolo define o conjunto de regras da negociação. Isto inclui os tipos de participantes permitidos (agentes negociadores ou qualquer outra figura relevante), os estados de negociação (ofertas aceitas, fim da negociação), os eventos que causam a mudança de estados de negociação (nenhuma oferta realizada) e as ações válidas dos participantes em um dado estado (quais mensagens podem ser enviadas para quem, de quem e em qual estágio). Outro aspecto importante é o objeto de negociação: conjunto de atributos sobre os quais a negociação é realizada. Um objeto pode ter apenas um atributo (preço) ou centenas (preço, qualidade, garantia, tempo de entrega...) (Jennings et al., 2001).

Geralmente, para um dado protocolo, existem muitas estratégias compatíveis, cada uma delas gerando uma saída diferente. Além disso, uma estratégia que funciona bem para um dado protocolo não necessariamente terá o mesmo desempenho ao ser aplicada em outro protocolo (Lomuscio et al., 2003).

Dada a grande variedade de protocolos e estratégias, não há uma técnica universalmente aceita como a melhor (Jennings et al., 2001), de modo que os protocolos e estratégias precisam ser estabelecidos de acordo com o contexto da negociação.

A junção do protocolo de negociação e das estratégias que os agentes adotam, é chamada de mecanismo de negociação. Algumas propriedades são consideradas desejáveis no mecanismo de negociação, como por exemplo, eficiência computacional e de comunicação (Lomuscio et al., 2003).

Metaforicamente, a negociação pode ser vista como uma busca distribuída em um espaço de negociação, o espaço de possíveis acordos (Figura 2.3). A dimensão e a topologia do espaço é determinada pela estrutura do objeto de negociação. Cada atributo do objeto de negociação tem uma dimensão associada. Desse modo, a Figura 2.3 diz respeito a dois atributos. Quando novos atributos

tos são adicionados (ou velhos removidos) durante a negociação, dimensões extras são adicionadas (ou removidas) e o número de pontos do acordo pode aumentar (ou diminuir). Similarmente, se um agente muda o valor de um dos atributos dentro de uma oferta, ele se move de um ponto a outro no espaço de negociação.

Para uma dada negociação, os participantes são componentes ativos que determinam a direção da busca. No início do processo, cada agente tem uma porção do espaço no qual ele quer fazer um acordo. A negociação acontece com os participantes sugerindo pontos específicos (regiões) no espaço como potencialmente aceitáveis. A busca termina quando os participantes encontram uma região no espaço de busca mutuamente aceitável ou quando o protocolo dita o fim (por qualquer razão) sem que um acordo tenha sido realizado.

Considerando esta metáfora, a Figura 2.3 mostra um agente A1 negociando com outros dois agentes (A2 e A3). A oferta corrente na negociação A1-A3 está na área de sobreposição entre os dois agentes indicando que possivelmente há um acordo entre eles. No entanto, a oferta corrente na negociação A1-A2 não levará a um acordo, pois não existem elementos comuns na região de possíveis acordos de A2.

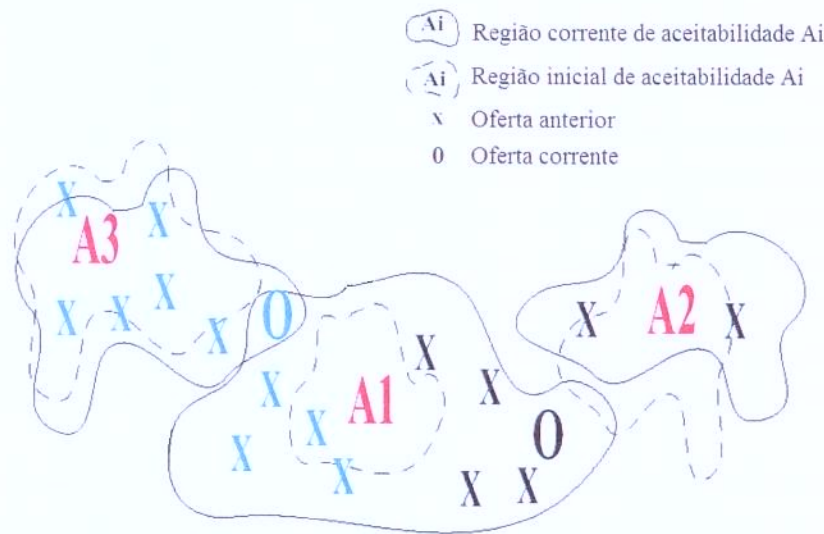


Figura 2.3: Espaço de negociação.

Diversos modelos de negociação têm sido desenvolvidos (Lomuscio et al., 2003). No comércio eletrônico, tema de estudo desta dissertação, um dos modelos mais estudados e empregados na atualidade é o leilão (He et al., 2003).

De modo geral, um leilão intermediado por agentes ocorre entre um agente leiloeiro (*auctioneer*) e uma coleção de agentes interessados em dar lances para se obter o bem leilado (*bidders*). O objetivo

do agente leiloeiro é alocar o bem para um dos demais agentes de forma a maximizar sua utilidade (Wooldridge, 2002).

O desenvolvimento de agentes computacionais para atuar em leilões eletrônicos é uma das aplicações mais relevantes na tecnologia de agentes (Wurman, 2001). A grande motivação de se estudar tal aplicação é a possibilidade de se construir agentes que possam participar e monitorar leilões continuamente. Entretanto, isso traz a tona dificuldades como a construção de um agente que possa vir a tomar decisões complexas em tempo real, de forma autônoma, comprometendo o usuário ao qual ele representa em ações futuras.

Leilões serão detalhados no Capítulo 3.

2.4 Aplicações da Tecnologia de Agentes

Existem várias formas de classificar aplicações na área de agentes. Elas podem ser classificadas pelo tipo de agente, pela tecnologia usada para implementar o agente ou pelo domínio da aplicação. Em relação a este último, têm-se os seguintes domínios: aplicações industriais, comerciais, médicas e de entretenimento (Jennings and Wooldridge, 1998).

Em aplicações industriais, agentes já foram utilizados em controle de processos (Jennings et al., 1995), manufatura (Parunak, 1987) e controle de tráfego aéreo (Rao and Georgeff, 1995).

Já em aplicações comerciais, vê-se o uso de agentes no controle de informações (Maes, 1994), comércio eletrônico (detalhes na próxima seção) e gerenciamento de processos empresariais (Jennings et al., 1996).

Em aplicações médicas, agentes podem ser utilizados no acompanhamento de informações a respeito de pacientes (Larsson and Hayes-Roth, 1998) e no gerenciamento das mais diversas tarefas necessárias à realização de um tratamento de saúde (Huang et al., 1995).

No entretenimento, agentes podem ser utilizados em jogos (Wavish and Graham, 1996), cinemas e teatros interativos (Hayes-Roth et al., 1989).

Outros exemplos de aplicações de agentes são o acesso móvel (agentes capazes de processar as necessidades dos usuários, mesmo diante de problemas na rede) e mensagens eletrônicas (quando acoplados a sistemas de *e-mail*, agentes podem ser usados para priorizar, filtrar e organizar as mensagens que chegam e que saem de um *host* ou mesmo de uma máquina local) (Rezende, 2003).

2.5 Comércio Eletrônico

Comércio eletrônico pode ser definido como o conjunto das atividades comerciais conduzidas na Internet (He et al., 2003). Através dele, pode-se negociar bens físicos e intangíveis tais como

informações e serviços (Cao and Chai, 2004). O seu uso crescente traz oportunidades inovadoras para todos os tipos de negócios (Akasaki et al., 1999).

De acordo com a natureza das negociações, os seguintes tipos de comércio eletrônico são identificados: *Business-to-Business* (B2B), *Business-to-Consumer* (B2C), *Consumer-to-Consumer* (C2C) e *Consumer-to-Business* (C2B). Os tipos mais comuns são o B2C e o B2B. O primeiro refere-se a transações eletrônicas entre empresas e consumidores finais. Já o segundo diz respeito a negociações entre empresas (He et al., 2003).

As negociações eletrônicas realizadas entre compradores e vendedores acontecem em mercados eletrônicos (*e-markets*). Estes podem existir de diversos modos, como por exemplo, na forma de leilões (Kowalczyk et al., 2002).

2.5.1 Agentes no Comércio Eletrônico

Na primeira geração do comércio eletrônico, os compradores eram geralmente humanos que observavam catálogos eletrônicos de mercadorias bem definidas (por exemplo, vãos, livros, computadores) e faziam (por um preço fixo) compras (geralmente com cartão de crédito). Contudo, essa era apenas uma amostra do que se podia fazer dentro desse cenário. Aumentando o grau de automação e sofisticação, este poderia se tornar mais dinâmico, personalizado e sensível ao contexto.

Para alcançar este grau de automação e com isso mover-se para a segunda geração do comércio eletrônico (sistemas com um grau maior de automação tanto do ponto de vista dos compradores como dos vendedores), um novo modelo de programa (*software*) se fez necessário. Este modelo é baseado na noção de agentes computacionais, ou simplesmente, agentes (He et al., 2003).

A Figura 2.4 ilustra o grau de automação que pode ser delegado a um agente no comércio eletrônico.

2.5.2 Modelo CBB - *Consumer Buying Behaviour*

Para identificar os papéis que um agente pode assumir dentro do comércio eletrônico, faz-se útil um modelo comum que mostre as ações e decisões envolvidas na tarefa de comprar e usar bens e serviços. O modelo CBB proposto por (Guttman et al., 1998) identifica seis estágios:

- Identificação da Necessidade (*Need Identification*);
- Seleção do Produto (*Product Brokering*);
- Seleção do Vendedor (*Merchant Brokering*);
- Negociação (*Negotiation*);

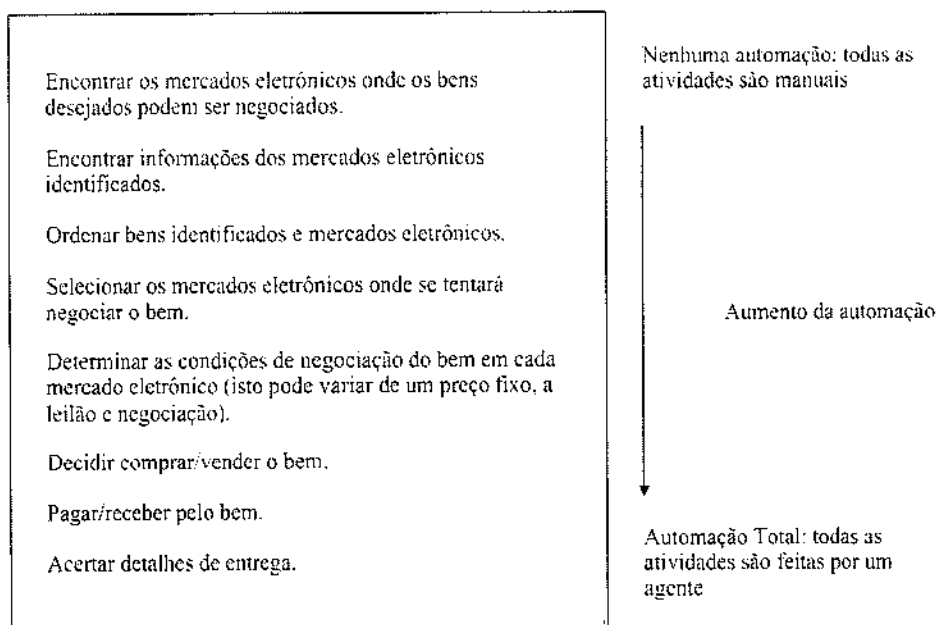


Figura 2.4: Variando o grau de automação delegado a um agente.

- Encomenda e Entrega (*Purchase and Delivery*);
- Serviço e Avaliação (*Service and Evaluation*).

Dentro dessa perspectiva, (He et al., 2003) afirma que agentes podem agir como mediadores nas seguintes etapas: Identificação da Necessidade, Seleção do Produto, Seleção do Vendedor e Negociação. Nas fases de Encomenda e Entrega (consiste em pagar pelo produto ou serviço adquirido e organizar a entrega) e de Serviço e Avaliação (consiste em avaliar o grau de satisfação da negociação e a necessidade de reparar ou atualizar o produto adquirido) não há muito o uso da tecnologia de agentes.

Identificação da Necessidade

Nesse estágio, o consumidor reconhece que necessita de algum produto ou serviço. Esta necessidade pode ser estimulada através de propagandas, amigos... No comércio eletrônico intermediado por agentes, esse estímulo pode vir através de um agente. Tal agente é chamado de agente de notificação. Ele precisa ter um perfil de seu usuário. Com o perfil instalado, ele pode informar ao seu usuário sempre que algum produto de seu interesse estiver disponível.

Seleção do Produto

Nessa fase, um agente pode ser utilizado para identificar o produto que mais irá se adequar as necessidades de seu usuário. Ele pode usar nesta tarefa palavras-chaves em suas buscas, pode procurar o que clientes com um perfil semelhante ao seu usuário apreciam ou usar restrições impostas por seu usuário (preço máximo, data de entrega, ...).

Seleção do Vendedor

Após ter selecionado o produto adequado, nessa fase, um agente escolhe o melhor vendedor ou fornecedor para negociar o produto escolhido. A escolha do vendedor mais apropriado pode levar vários atributos em consideração, como por exemplo, preço, tempo de entrega, garantia... Naturalmente, a importância dos atributos irá depender de cada tipo de consumidor. Devido a isso, faz-se necessário que esta informação seja codificada no agente.

Negociação

Em negociações humanas, duas ou mais partes negociam umas com as outras para determinar o preço ou outros termos da transação. Na negociação intermediada por agentes, estes negociam uns com os outros com o mesmo intuito. De modo geral, eles preparam ofertas de modo a obter o melhor benefício possível para as partes que eles representam. Eles fazem isso de acordo com alguma estratégia de negociação. Tais estratégias são determinadas pelo protocolo da negociação. Este protocolo define como os agentes devem se comportar, isto é, quem pode falar o quê, para quem e em qual momento. Uma maneira de o agente comprador interagir com o agente vendedor é através de leilões (estes serão objetos de estudo no Capítulo 3).

2.6 Resumo

Este capítulo apresentou conceitos importantes a respeito da tecnologia de agentes. Em particular, mostrou-se que estes podem ser aplicados no Comércio Eletrônico e que uma das formas de agentes de compra e venda interagirem é através de leilões - objeto de estudo dessa dissertação. Os próximos capítulos detalham a relação entre agentes e leilões.

Capítulo 3

Leilões

Este capítulo define o conceito de leilão, ressaltando a importância de seu uso. Diversos tipos de leilões com suas respectivas estratégias são apresentados. Enfatiza-se o uso de agentes em leilões eletrônicos, em particular, nos leilões eletrônicos simultâneos heterogêneos com bens inter-relacionados. Por fim, é apresentado um fórum internacional criado para promover e encorajar pesquisas de alta qualidade neste cenário, o *Trading Agent Competition*.

3.1 Definição

De modo geral, um leilão intermediado por agentes, sejam eles computacionais ou humanos, acontece entre um agente leiloeiro (*auctioneer*) e uma coleção de agentes interessados em dar lances para se obter o bem leiloadado (*bidders*). O objetivo do leilão é o agente leiloeiro alocar o bem para um dos demais agentes. Na maior parte dos casos, o agente leiloeiro desejará maximizar o preço pelo qual o bem será alocado, enquanto os demais agentes desejarão minimizar o preço. O agente leiloeiro tentará alcançar seu objetivo através da escolha de um protocolo de leilão apropriado, enquanto os demais agentes tentarão alcançar seus objetivos usando uma estratégia de acordo com as regras do protocolo (Wooldridge, 2002). O resultado final de um leilão é um acordo entre o agente leiloeiro e o agente vencedor.

3.2 Importância e Aplicabilidade

Leilões têm sido usados desde a antiguidade para a negociação de uma grande variedade de objetos. Atualmente, a diversidade e a importância dos objetos leiloados têm crescido em proporções gigantescas. Objetos de arte, antiguidades, flores e metais são alguns exemplos de objetos leiloados.

Merece destaque o crescimento, tanto em quantidade como em importância, dos leilões eletrônicos - leilões realizados via Internet (Krishna, 2002).

A Internet popularizou o uso de leilões, fazendo com que eles ficassem mais acessíveis para o público em geral. Uma das razões pelas quais leilões eletrônicos se tornaram tão populares é que eles permitem mecanismos simples de interação. Portanto, é fácil automatizá-los, fazendo com que eles se tornem um mecanismo adequado para agentes interagirem e chegar a um acordo. Além dessa simplicidade, leilões apresentam uma coleção rica de problemas para pesquisadores e uma ferramenta poderosa para alocar bens, tarefas e recursos (Wooldridge, 2002).

3.3 Protocolos e Estratégias de Leilões

Existem vários tipos ou protocolos de leilões. Existem os leilões simples (*single-sided auctions*) que são aqueles em que o agente leiloeiro não realiza lances. Desse grupo os mais comuns são:

- Inglês (*English*);
- Primeiro Preço (*First-price sealed bid*);
- Holandês (*Dutch*);
- Vickrey.

Por sua vez, os leilões de dupla direção (*double-sided auctions*) são aqueles em que todos os agentes podem fazer lances. O tipo mais comum é:

- Duplo ou CDA (*Continuous double auction*).

Uma nova possibilidade no comércio eletrônico intermediado por agentes, é a atuação de agentes em diferentes leilões simultaneamente (He et al., 2003). Tal possibilidade tem a vantagem de aumentar a chance do agente conseguir os produtos para o seu usuário por um melhor preço ao comparar múltiplos leilões, e efetuar a transação naquele que apresentar um menor preço. Na seção 3.5 (Agentes em Leilões Eletrônicos Simultâneos) serão fornecidos mais detalhes sobre esta nova abordagem. Adiante, serão apresentadas informações sobre protocolos e estratégias dos leilões já citados nessa sessão.

3.3.1 Leilão Inglês

Nesse tipo de leilão um produto é oferecido por um valor mínimo inicial. Cada participante (com exceção do leiloeiro) é livre para aumentar sua oferta. Quando nenhuma oferta é realizada dentro de

um certo período de tempo o leilão termina e o participante que fizer a maior oferta leva o item pelo valor oferecido. Nesse caso, em geral, a melhor estratégia a ser utilizada é sempre realizar uma oferta um pouco maior que a oferta corrente (no caso a maior oferta), e parar quando esta atingir o valor que o participante em questão acredite que seja o valor do bem (Weiss, 1999).

3.3.2 Leilão Primeiro Preço

Nesse leilão, cada participante submete uma oferta sem ter conhecimento das ofertas realizadas pelos outros participantes. A maior oferta leva o bem e paga o valor oferecido. A melhor estratégia a ser utilizada nesse contexto, é realizar uma oferta que seja inferior ao valor no qual se acredite que o bem tenha, mas suficiente para vencer o leilão. Esse valor inferior irá depender do valor das ofertas dos outros participantes - não há uma solução geral (Weiss, 1999; Wooldridge, 2002).

3.3.3 Leilão Holandês

Nesse caso, o leiloeiro fixa um preço inicial alto para o bem leiloadado e continuamente diminui o seu valor até que algum dos participantes decida levar o bem pelo preço corrente. A melhor estratégia neste leilão é a mesma do leilão Primeiro Preço, porque em ambos os casos o participante só leva o bem se sua oferta for a maior e nenhuma informação é revelada durante o progresso do leilão (Weiss, 1999).

3.3.4 Leilão Vickrey

Aqui, cada participante do leilão (exceto o leiloeiro) submete uma oferta sem conhecimento da oferta dos outros participantes. A maior oferta ganha, mas o preço a ser pago é o da segunda maior oferta. Uma estratégia é deixar a oferta em função do valor que se acredite que o bem tenha e do valor do bem para os outros participantes. É provado que a melhor tática é fazer a oferta com base no valor que se acredite que o bem possua (Weiss, 1999).

3.3.5 Leilão Duplo ou CDA

Esse tipo de leilão é utilizado na bolsa de valores. Nele, todos os participantes podem comprar ou vender bens a qualquer momento dentro de um período de negociação. Não há a figura de um leiloeiro. Existe uma grande variedade de modelos CDA construídos. Várias estratégias têm sido propostas na literatura para este leilão (He et al., 2003).

Para o contexto dessa tese, será utilizado o seguinte modelo de CDA: Tem-se um leilão de um bem. Qualquer participante que disponha de tal bem pode colocá-lo a venda pelo preço que lhe

parecer justo, fazendo desse modo, uma oferta de venda. Por outro lado, os interessados em tal bem podem fazer uma oferta de compra, ou seja, anunciar o valor que está disposto a pagar para obter o bem.

Com base nas ofertas de venda e compra, sempre que estas são combinadas, o negócio é fechado. Uma nova oferta de compra é combinada com a menor oferta de venda já realizada, desde que o valor da oferta de compra seja igual ou maior do que o de venda. Por outro lado, uma nova oferta de venda é combinada com a maior oferta de compra, desde que o preço de venda seja igual ou menor do que o de compra. Em ambos os casos, o valor do bem negociado será o valor da oferta mais antiga.

3.4 Leilões Eletrônicos Intermediados por Agentes

O desenvolvimento de agentes para atuar em leilões eletrônicos é uma das aplicações mais relevantes dentro da tecnologia de agentes (Wurman, 2001).

O papel do agente em tais leilões é representar seus usuários. Isto inclui analisar situações de mercado, monitorar leilões, determinar os leilões onde se realizar ofertas e decidir quando, como e por quanto uma oferta deve ser realizada com intuito de se fazer o melhor negócio (He et al., 2003). Para essa tarefa ser realizada com sucesso, o agente deve apresentar alguns atributos, como por exemplo (He, 2004):

1. Capacidade de Previsão: O agente precisa prever como um leilão vai terminar para ver se ele é atrativo;
2. Capacidade de Adaptação: O modo de agir do agente deve considerar o comportamento de seus adversários; mudaram os adversários, o comportamento do agente deve ser mudado;
3. Flexibilidade: O agente precisa ser flexível ao gerar e ao responder às ofertas. Por exemplo, no leilão CDA, para que um agente não desperdice a oportunidade de realizar um grande negócio, pode ser necessário que ele aumente ou diminua suavemente o valor que inicialmente estaria disposto a usar em uma oferta de compra ou venda;
4. Análise de Compromissos: Para fazer um bom negócio, o agente pode precisar buscar produtos com atributos diferentes dos desejados originalmente por seu usuário; por exemplo, ao se comprar uma passagem aérea, o agente pode mudar o dia de viagem proposto pelo usuário e com isso ingressar em um leilão mais atrativo financeiramente.

Existem evidências de que agentes podem apresentar um desempenho superior ao de humanos em cenários complexos de leilões. Isso ocorre porque para fazer uma boa compra é preciso monitorar leilões em diversos *sites*, escolher o melhor conjunto deles para se realizar ofertas e determinar seus

respectivos valores (Byde et al., 2002). Muitas vezes essa tarefa pode durar dias ou até semanas. Portanto, fica inviável para um ser humano realizar incessantemente uma tarefa desse porte por tal período.

Em particular, através de experimentos onde agentes e humanos participam simultaneamente de leilões duplos, concluiu-se que aqueles podem consistentemente obter um desempenho melhor do que estes (Das et al., 2001).

3.5 Agentes em Leilões Eletrônicos Simultâneos

Leilões simultâneos se caracterizam pela ocorrência de vários leilões em um mesmo período de tempo, sendo estes de um mesmo protocolo ou não. Os bens por eles oferecidos podem ser os mesmos ou inter-relacionados, nesse caso podendo ser complementares ou substituíveis. Serão complementares se o valor de adquiri-los juntos for maior do que a soma de seus valores individuais. Por outro lado, bens substituíveis são aqueles em que o valor de se obtê-los juntos é menor do que a soma de seus valores individuais (Vetsikas and Selman, 2005).

Agentes em leilões eletrônicos são encontrados na literatura atuando tanto em leilões isolados quanto em simultâneos. Embora os trabalhos na primeira área sejam importantes, a tendência é que a pesquisa acadêmica se concentre na segunda área. Isso ocorre porque o mercado fica mais atrativo já que agentes monitoram, comparam e combinam uma grande quantidade de leilões, fazendo com que seus usuários obtenham um melhor resultado advindo destas negociações. (Castro, 2003; Preist et al., 2001b).

Os leilões simultâneos podem ser similares ou heterogêneos e oferecerem um único ou diversos bens (podendo ser inter-relacionados). Por exemplo, (Preist et al., 2001a) mostram um agente que participa de múltiplos leilões simultâneos do tipo Inglês com o objetivo de comprar um ou mais bens. Este artigo apresenta um algoritmo de decisão para leilões que terminam em um mesmo instante e em instantes distintos. No primeiro caso é usado um algoritmo de coordenação. Já no segundo caso é feita uma combinação do algoritmo de coordenação com um algoritmo que determina a oferta máxima que um agente deve fazer em cada um dos leilões que está para terminar.

Já (Anthony and Jennings, 2002) abordam o uso de um agente que participa de leilões simultâneos (não necessariamente iniciando e terminando ao mesmo tempo) heterogêneos (Inglês, Holandês, *Vicrey*) em busca de um único bem. O agente tem uma estratégia voltada para cada ambiente no qual ele atua. São quatro os possíveis tipos de ambiente e sua classificação se dá conforme o tempo em que o agente ainda tem para realizar suas ofertas e do número de leilões no mercado. A melhor estratégia para cada uma das situações é obtida *off-line* por um algoritmo genético. O valor do possível lance para cada um dos leilões que está em andamento é determinado com base nas seguintes restrições:

o tempo em que o leilão ainda está em andamento, os leilões que ainda restam, o desejo do usuário por economizar, e o nível de necessidade. Cada restrição tem um peso e há uma função que sugere o valor do lance. Esta função tem dois parâmetros. O algoritmo genético é utilizado para encontrar o peso ideal e valor de cada um desses parâmetros.

Quanto ao uso de agentes para atuar em leilões simultâneos a procura de bens inter-relacionados, é possível encontrar diversos artigos na literatura propondo soluções e analisando seus desempenhos em um mercado voltado para a construção de pacotes de viagem. Algumas destas soluções, bem como a descrição deste mercado, serão descritas no Capítulo 4.

3.6 Agentes em Leilões Eletrônicos Simultâneos Heterogêneos com Bens Inter-relacionados

Leilões eletrônicos simultâneos heterogêneos com bens inter-relacionados possuem características e desafios próprios. Atualmente, muita pesquisa acadêmica é dedicada ao desenvolvimento de agentes que possam atuar nesse contexto. Estes agentes podem, por exemplo, participar de leilões com o objetivo de obter peças para compor um computador ou montar pacotes de viagem. Alguns dos desafios em se propor tal agente são:

1. O agente deve obter todos os bens inter-relacionados, pois a ausência de um deles desperdiça os já obtidos;
2. O agente deve obter todos os bens na quantidade exata, caso contrário os bens extras serão desperdiçados;
3. O agente deve ser capaz de apresentar diversas estratégias para atuar em cada um dos leilões em que ele participa (por exemplo, Inglês ou *Vickrey*);
4. O agente deve ter algum mecanismo capaz de determinar em qual leilão realizar suas ofertas e indicar seus respectivos valores.

Com o intuito de promover e encorajar pesquisas na área de agentes atuando em leilões eletrônicos simultâneos heterogêneos com bens inter-relacionados foi criada uma competição entre agentes negociadores, o *Trading Agent Competition - TAC*, versão *Classic*. Esta competição foi elaborada de modo a ser desafiadora, apresentando dificuldades reais encontradas no dia-a-dia dos leilões eletrônicos (Wellman et al., 2001). O *TAC-Classic* simula um ambiente de agência de viagem onde agentes negociadores têm como meta construir pacotes de viagens para seus clientes. Isso inclui passagens de ida e volta, reservas em hotel e eventos de lazer durante a temporada em que o cliente estiver

viajando. Os bens (passagem aérea + quarto de hotel + ingresso de lazer) são negociados em leilões simultâneos heterogêneos. Embora o TAC-Classic seja restrito a um mercado de agência de viagem, as soluções propostas e avaliadas dentro de seu ambiente podem ser estendidas a outros domínios.

3.7 *Trading Agent Competition*

Trading Agent Competition (TAC) é um fórum internacional que visa, desde o ano de 2000, promover e encorajar pesquisas para o problema de negociação entre agentes. Ele oferece plataformas de testes e ferramentas para construção de agentes em duas versões: *Classic* e *Supply Chain Management* (SCM) e, anualmente, promove competições oficiais.

O TAC-Classic foi originalmente projetado por um grupo de pesquisadores liderados por Michael Wellman (Universidade de Michigan) e Peter Wurman (Universidade do Estado da Carolina do Norte) e teve sua primeira edição em 2000 (Greenwald and Stone, 2001). Em 2002, terceira edição da competição, o Laboratório de Sistemas Inteligentes no Instituto Sueco de Ciências de Computação (SICS) passou a organizá-lo, estando no seu comando até a atualidade (ano de 2006).

Cada agente negociador no TAC-Classic recebe uma carteira de clientes, onde cada um deles possui um conjunto de preferências de viagem. O objetivo do agente é atender às preferências de seus clientes na construção dos pacotes de viagem com um menor custo possível. Detalhes dessa versão são encontrados no Capítulo 4.

Já o TAC - SCM, teve sua primeira edição em 2003 e foi criado pela Universidade de Carnegie Mellon e pelo Instituto Sueco de Ciências de Computação (SICS). Nesse jogo, seis agentes negociam simultaneamente com produtores de componentes de peças para computadores pessoais e com consumidores de computadores já montados. Agentes podem montar para vender dezesseis modelos diferentes de computadores, definidos por combinações compatíveis de quatro tipos de componentes: CPU, placa-mãe, memória e HD (Arunachalam and Sadeh, 2005; Kiekintveld et al., 2005).

3.8 **Resumo**

Este capítulo apresentou o conceito de leilões e mostrou sua importância e aplicabilidade. Os principais protocolos existentes juntamente com suas estratégias foram citados. A Internet popularizou o uso de leilões, trazendo a tona os leilões eletrônicos. É possível que estes sejam intermediados por agentes.

Atualmente, muita pesquisa acadêmica vem sendo dedicada ao uso de agentes em leilões simultâneos. Em particular, existe um fórum internacional, TAC, dedicado a promover e encorajar pesquisas na área de agentes atuando em leilões eletrônicos simultâneos heterogêneos com bens inter-

relacionados. O TAC oferece duas competições onde agentes realizam negociações através de leilões. Na versão *classic*, objeto de estudo desta dissertação, agentes têm como meta construir pacotes de viagens para seus clientes. Os bens que formam estes pacotes são negociados em leilões simultâneos heterogêneos. O próximo capítulo descreve em detalhes esta versão.

Capítulo 4

TAC-Classic

Este capítulo descreve o ambiente Trading Agent Competition - *Classic*. As informações referem-se a sua versão mais atual, em uso desde o ano de 2004. Após uma apresentação detalhada desse ambiente, explica-se como se dá a construção de um agente para atuar neste contexto. É também retratado porque é um desafio construir um agente para o TAC-*Classic*. Por fim, são descritas estratégias de alguns agentes que participaram em competições passadas.

4.1 Descrição

Na agência de viagem simulada pelo TAC-*Classic*¹, cada agente (um participante da competição) é um agente de viagem com o objetivo de montar pacotes de viagem (de TACtown a Tampa, durante um período máximo de cinco dias) para oito clientes, que expressam suas preferências em vários aspectos da viagem. O objetivo do agente é maximizar a satisfação total de seus clientes (a soma da utilidade de cada cliente). Um pacote de viagem válido é formado por:

1. Uma passagem aérea de ida e uma de volta;
2. Reservas em um mesmo hotel (existem dois hotéis) para cada noite entre a chegada e a partida do cliente;
3. Ingressos para os seguintes eventos de lazer durante o período da viagem (a presença dos ingressos não é obrigatória para a validade do pacote, mas sua inclusão tende a aumentar a utilidade de cada cliente):
 - Luta de crocodilo;

¹Descrição obtida a partir de <http://www.sics.se/tac/page.php?id=3>

- Parque de diversão;
- Museu.

Os clientes têm preferências individuais sobre quais dias eles gostariam de ficar em Tampa, o tipo de hotel e qual ingresso de lazer eles querem.

Os agentes participantes da competição se enfrentam em jogos que duram nove minutos. Cada jogo é composto por 28 leilões, sendo 8 de passagens aéreas ou vôos, 8 para os hotéis e 12 para os ingressos de lazer. Os leilões apresentam protocolos distintos.

A Figura 4.1 ilustra um jogo do TAC-Classic. À esquerda há oito clientes, cada um com suas preferências individuais, no meio os agentes competidores e à direita todos os leilões (28 leilões simultâneos).

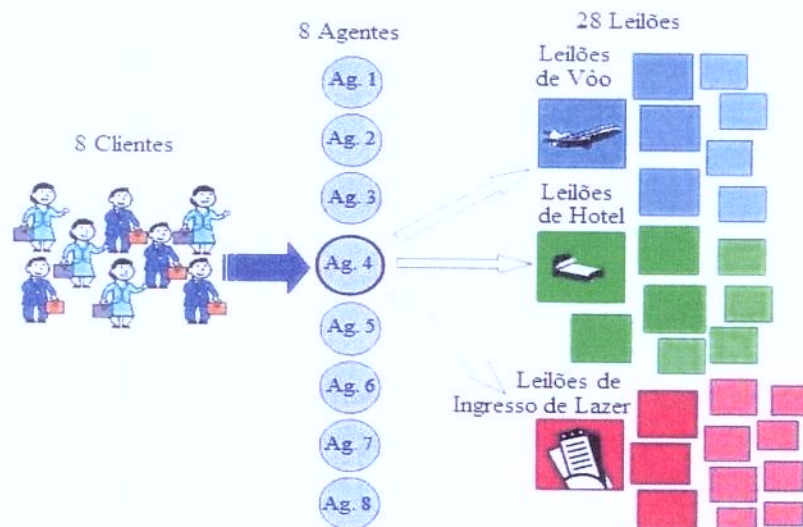


Figura 4.1: Ambiente TAC-Classic: cada agente deve participar de leilões simultâneos para conseguir vôos, hotéis e ingressos de lazer para seus clientes.

4.2 Bens e Modos de Negociação no TAC-Classic

Cada um dos bens que constituem a viagem tem suas próprias características de negociação. Logo, existem três tipos de leilões no TAC: um para os vôos, outro para os quartos de hotel e mais um para os eventos de lazer. Agentes submetem lances/ofertas para os leilões, expressando ofertas (em dólares) para comprar ou vender os bens correspondentes. O servidor de leilões admite ofertas na forma de pontos quantidade-preço:

$$(q_1, p_1), \dots, (q_n, p_n).$$

Um ponto (q_i, p_i) com $q_i > 0$ significa que o agente está interessado em comprar q_i unidades do bem por um valor máximo de p_i por unidade. Se $q_i < 0$, então o agente está interessado em vender $|q_i|$ unidades do bem por um valor de no mínimo p_i . Por exemplo, um agente ao submeter uma oferta $(-2, \$40)$, $(3, \$20)$, $(1, \$10)$ quer dizer, “Quero vender duas unidades por no mínimo \$40, comprar 3 unidades por no máximo \$20 e comprar 1 adicional se o preço não for superior a \$10” (Wellman et al., 2001).

Serão detalhados a seguir os bens que constituem o ambiente TAC-Classic e seus modos de negociação. A partir de agora, os dias de viagem serão referenciados da seguinte forma: dia 1 correspondendo ao primeiro dia, dia 2 ao segundo dia, até o dia 5 que é o último dia possível.

O termo cotação será sempre utilizado para mencionar a informação enviada do servidor para todos os agentes competidores sobre o preço corrente de cada um dos leilões. O servidor TAC ao admitir uma oferta/lance, atualiza o preço de cotação e periodicamente informa-o para os agentes.

4.2.1 Passagem Aérea ou Vôo

Existe apenas uma companhia aérea entre TACtown e Tampa, a TACAIR. Passagens para esses vôos são ilimitadas e vendidas em leilões simples. São oito leilões ao todo, um para cada combinação de dia e direção: 4 leilões de vôo de ida (dia 1 ao dia 4) e 4 leilões de vôo de volta (dia 2 ao dia 5). Dado que um cliente deve ficar pelo menos uma noite em Tampa, não existem vôos de volta no primeiro dia, nem vôos de ida no último (quinto dia).

TACAIR é representada no mercado por um agente que modifica os preços conforme uma função estocástica.

O processo de atualização de preço das passagens é *random walk*. Os preços iniciais são escolhidos aleatoriamente entre \$250 e \$400 e perturbados a cada 10 segundos por um valor aleatório extraído de intervalos na forma:

$$[-10, f(x, t)], \text{ se } f(x, t) > 0 \quad (4.1)$$

$$[f(x, t), 10], \text{ se } f(x, t) < 0 \quad (4.2)$$

$$[-10, 10], \text{ se } f(x, t) = 0 \quad (4.3)$$

sendo $f(x, t)$ definida como:

$$f(x, t) = 10 + \frac{t}{9}(x - 10) \quad (4.4)$$

e t sendo o tempo em minutos de duração do jogo e x uma realização de uma variável aleatória inteira com distribuição uniforme no intervalo de $[-10, 30]$ escolhida para cada leilão de vôo no início

de cada jogo. Os preços dos vôos e as perturbações assumem sempre valores inteiros.

Independentemente da perturbação adicionada ao preço, este se restringe ao intervalo entre \$150 e \$800.

Os preços dos vôos podem, portanto, diminuir ou aumentar. Durante o jogo, os agentes recebem cotações sobre o preço corrente do vôo em cada um dos leilões e decidem se vão fazer um lance ou não. Qualquer lance enviado ao servidor que seja superior ou igual ao preço de cotação será contemplado imediatamente pelo preço de cotação. Lances inferiores permanecem no leilão até que ou sejam retirados ou o preço de cotação se torne igual ou inferior ao lance realizado (caso isto aconteça, dá-se a compra do vôo pelo agente).

Por exemplo, suponha que a TACAIR esteja vendendo vôos para um certo leilão a \$300:

- Um lance de (5 \$370) compraria 5 unidades a \$300 cada;
- Um lance de (3 \$290) não compraria e permaneceria no leilão. Caso a TACAIR diminuísse o valor de venda para \$290 ou um valor menor, o lance de compra seria suficiente para comprar 3 unidades a no máximo \$290 (o valor exato dependeria do preço fornecido pela TACAIR);
- Um lance de ((2 \$370) (3 \$290)) compraria 2 unidades a \$300 cada. A porção restante do lance, (3 \$290), permaneceria no leilão.

Os leilões de vôo só terminam ao fim de cada jogo. Como mencionado anteriormente, independentemente do valor que a TACAIR esteja vendendo um certo vôo, um agente que fizer uma oferta que seja no mínimo igual ao valor ditado pela TACAIR, imediatamente comprará o vôo. Em outras palavras, os vôos são vendidos a preços fixos que variam a cada 10 segundos. Cabe ao agente decidir o momento certo para realizar a compra.

4.2.2 Hotel

Há dois hotéis em Tampa: o *Tampa Towers* (TT) e o *Shoreline Shanties* (SS). TT é mais limpo, confortável e mais conveniente; conseqüentemente, tende a ser mais caro. Clientes não podem trocar de hotel durante sua viagem.

Existe um leilão para cada combinação de hotel e noite, totalizando desse modo oito: 4 leilões para o hotel TT (dia 1 ao dia 4) e 4 leilões para o hotel SS (dia 1 ao dia 4). Clientes precisam de hotéis somente na noite de sua chegada até a noite anterior a sua partida. Não são necessários leilões de hotéis para o último dia (dia 5).

Em cada dia, para ambos os hotéis, 16 quartos são negociados. Dado a sua importância para garantir pacotes válidos, juntamente com sua oferta limitada (apenas 16 quartos por noite), hotéis são os bens mais disputados da competição.

Quartos de hotel são vendidos em leilões cujo protocolo é uma variação do leilão Inglês. Ele difere do leilão Inglês tradicional, pois ao invés de se negociar um bem pelo maior lance realizado, são negociados 16 bens (16 quartos), pelo 16º maior preço.

Todos os leilões de hotéis são iniciados ao valor de \$0. De minuto em minuto, aleatoriamente, um dos oito leilões é finalizado, de modo que ao fim do oitavo minuto o último leilão termina. Nesse leilão, os lances são contemplados uma única vez, no término do leilão. Nesse momento, os agentes que realizaram as 16 maiores ofertas levam os 16 quartos e todos pagam o mesmo valor: o valor do 16º maior lance.

Por exemplo, assuma que os seguintes lances foram realizados em um leilão de hotel:

- Vendedor: (-16, \$0)
- Agente 1: (8, \$2)
- Agente 2: (6, \$6), (2, \$4)
- Agente 3: (4, \$8)
- Agente 4: (7, \$10)

Neste exemplo, caso o leilão terminasse nesse momento, Agente 4 levaria 7 quartos, Agente 3 levaria 4, Agente 2 levaria 5 e por fim o Agente 1 não levaria nada. O preço dos quartos seria de \$6, a 16ª maior oferta realizada.

Ao fim de cada minuto, para os leilões que não terminaram, o servidor anuncia para todos os agentes o valor do 16º maior lance (valor de cotação). Caso não tenham sido realizados 16 lances, o valor de cotação será \$0. O preço dos outros lances, por exemplo, o maior, não é conhecido pelos agentes participantes.

Seja ASK a cotação corrente (16º maior preço). Qualquer novo lance b realizado por algum agente deve satisfazer as seguintes condições para serem admitidos no leilão:

1. b deve valer no mínimo $ASK + 1$;
2. Se a última oferta de um agente fosse hipoteticamente suficiente para comprar q unidades de quartos em um leilão, ele poderia continuar participando do leilão com esta última oferta. Entretanto, caso ele quisesse fazer uma nova oferta, para todos os quartos que ele hipoteticamente ganharia, ele deveria fazer uma nova oferta no valor mínimo de $ASK + 1$.

Os agentes não podem retirar lances enquanto estes estiverem entre as 16 maiores ofertas. Nos leilões em andamento, cada agente pode obter individualmente a informação de quantos quartos compraria com seu último lance válido se hipoteticamente tal leilão tivesse terminado.

4.2.3 Ingressos de Lazer

No início do jogo, cada agente participante recebe um conjunto de ingressos referentes aos eventos de lazer. Há um total de oito ingressos disponíveis para cada tipo de evento (Luta de Crocodilos, Museu e Parque de Diversões) em cada dia, e cada agente recebe uma quantia de doze ingressos divididos da seguinte forma:

1. Quatro ingressos de um tipo particular no dia 1 ou 4;
2. Quatro ingressos de um tipo particular no dia 2 ou 3;
3. Dois ingressos de um tipo particular (diferente dos tipos acima) no dia 1 ou 4;
4. Dois ingressos de um tipo particular (diferente dos tipos acima) no dia 2 ou 3.

Agentes negociam os ingressos em leilões duplos (CDA - *Continuous Double Auction*) que terminam somente no final do jogo. Existe um leilão para cada combinação evento-dia, totalizando doze leilões: 4 leilões para Luta de Crocodilo (dia 1 ao dia 4), 4 leilões para o Museu (dia 1 ao dia 4) e 4 leilões para o Parque de Diversões (dia 1 ao dia 4). Assim como hotéis, um cliente não pode usar um ingresso de lazer no dia de sua partida.

Agentes podem submeter ofertas de compra e/ou venda, desde que o agente não venda para si mesmo o ingresso nem venda ingressos que não possua. O agente sofrerá uma penalidade de \$200 por cada ingresso vendido incorretamente.

Uma nova oferta de compra é combinada com a menor oferta de venda já realizada e não contemplada, desde que o valor da oferta de compra seja maior ou igual que o de venda. Por outro lado, uma nova oferta de venda é combinada com a maior oferta de compra já realizada e não contemplada, desde que o preço de venda seja menor ou igual que o de compra. Em ambos os casos, o valor do bem negociado será o valor da oferta mais antiga.

Cotações de preços são continuamente atualizadas e divulgadas em resposta a novos lances, na forma (b, a) , onde b (*bid*) é a maior oferta de compra já realizada e não contemplada e a (*ask*) é a menor oferta de venda já realizada e ainda não contemplada. Como exemplo, sejam as seguintes ofertas não contempladas:

- $(-1, \$100)$;
- $(-4, \$90), (-2, \$50)$;
- $(-6, \$60)$;
- $(1, \$40), (3, \$10)$;

- (1, \$20).

O preço de cotação é [\$40, \$50], ou seja, existem agentes interessados em comprar ingressos por no máximo \$40 e há agentes vendendo ingressos com valores a partir de \$50. Os seguintes exemplos mostram o que acontece quando várias ofertas são submetidas ao leilão:

- Uma nova oferta de venda (-1, \$55) não é contemplada com nenhuma oferta de compra, já que os agentes interessados em compras não pagam mais de \$40. Essa nova oferta de venda é adicionada à lista de ofertas já realizadas. O preço de cotação não muda, pois a menor oferta de venda continua sendo \$50. A lista das ofertas não contempladas se torna:

- (-1, \$100);
- (-4, \$90), (-2, \$50);
- (-6, \$60);
- (1, \$40), (3, \$10);
- (1, \$20);
- (-1, \$55).

- Uma nova oferta de compra (3, \$48) não é contemplada com nenhuma oferta de venda, mas neste caso o preço de cotação é atualizado para [\$48, \$50], ou seja, a partir deste momento, há um agente interessado em comprar ingresso por no máximo \$48 (anteriormente era \$50). A lista das ofertas não contempladas se torna:

- (-1, \$100);
- (-4, \$90), (-2, \$50);
- (-6, \$60);
- (1, \$40), (3, \$10);
- (1, \$20);
- (-1, \$55);
- (3, \$48).

- Uma nova oferta de compra (6, \$70) é contemplada com duas unidades de venda de \$50, uma unidade de \$55, e três unidades de \$60 (a oferta de compra foi contemplada com as ofertas de venda já realizadas, cujo valor é menor que \$70). O preço de cotação se torna [\$48, \$60]. A lista das ofertas não contempladas se torna:

- (-1, \$100);
- (-4, \$90);
- (-3, \$60);
- (1, \$40), (3, \$10);
- (1, \$20);
- (3, \$48).

- Uma nova oferta de venda (-7, 15) é contemplada com três unidades de \$48, uma unidade de \$40 e uma unidade de \$20. Desde que nem todas as unidades dessa oferta foram vendidas, os ingressos que sobraram são colocados na lista das ofertas já realizadas e não contempladas. O valor de cotação se torna [\$10, \$15]. A lista das ofertas não contempladas se torna:

- (-1, \$100);
- (-4, \$90);
- (-3, \$60);
- (3, \$10);
- (-2, \$15).

Um pacote de ingressos de lazer para um cliente é válido se os ingressos coincidem com as noites em que o cliente está na cidade, não existem mais de um ingresso por noite e se nenhum deles for repetido.

Alguns agentes deixam para segundo plano a sua negociação, pois não é preciso ingresso para que o pacote de viagem seja válido. No entanto, sua presença pode fazer com que a utilidade de cada cliente aumente.

É permitido que os agentes retirem lances neste tipo de leilão.

4.3 Função Utilidade

Cada cliente especifica suas preferências através de:

- O dia da partida para Tampa (*PA - Preferred Arrival*);
- O retorno para TACtown (*PD - Preferred Departure*);
- As preferências relativas aos dias de viagem são escolhidas aleatoriamente para cada um dos clientes, de modo que todos os pares ida/volta têm a mesma probabilidade;

- Um bônus por se hospedar no melhor hotel (*HP* - *Hotel Premium*);
 - Os bônus são escolhidos para cada cliente uniformemente no intervalo [\$50, \$150].
- Um bônus por cada evento de lazer: Luta de Crocodilo (*AW* - *Aligator Wrestling*), Parque de Diversões (*AP* - *Amusement Park*) e Museu (*MU* - *Museum*);
 - Os bônus são escolhidos uniformemente no intervalo [\$0, \$200].

Um exemplo de uma carteira com as preferências dos clientes pode ser visto na Tabela 4.1. Todos os agentes recebem no início de cada jogo uma carteira como essa.

Cliente	Ida	Retorno	Hotel	Luta de Crocodilo	Parque de Diversão	Museu
1	Dia 2	Dia 5	77	139	181	77
2	Dia 1	Dia 2	113	55	73	156
3	Dia 3	Dia 4	122	109	196	15
4	Dia 2	Dia 3	119	114	71	152
5	Dia 1	Dia 2	127	196	91	192
6	Dia 1	Dia 4	75	138	101	147
7	Dia 1	Dia 3	146	189	71	95
8	Dia 1	Dia 4	74	182	95	61

Tabela 4.1: Carteira de preferências de clientes do agente *e-Agent* no jogo 28156, TAC-Classic 2005.

A carteira da Tabela 4.1 foi atribuída ao competidor *e-Agent* no jogo 28156, durante o TAC-2005. Nesta carteira, vê-se que, por exemplo, o cliente 1, gostaria de viajar no dia 2, retornar no dia 5, dará um bônus de \$77 caso se hospede no hotel *Tampa Towers* e em relação aos eventos de lazer, dará um bônus de \$139, \$181 e \$77 se, respectivamente, for à luta de crocodilo, parque de diversão e museu.

Suponha que um agente tenha conseguido para cada um de seus clientes:

- Uma passagem de ida (*AAr* - *Actual Arrive*);
- Uma passagem de retorno (*AD* - *Actual Departure*);
- Um indicativo de que o cliente se hospedará no hotel *Tampa Towers*: 0 (Não) / 1 (Sim);
- Um indicativo de que foram obtidos ingressos de lazer: *AW?*, *AP?* e *UM?*, cujos valores são 0 (não foi obtido) e 1 (foi obtido).

O pacote de viagem só será válido se ele contiver reservas em um mesmo hotel durante o período que compreende a chegada à Tampa e a noite anterior ao retorno do cliente. O bônus dado pelo cliente que se hospeda no *Tampa Towers* é pela estadia durante toda a viagem e não por noite.

Em relação aos ingressos de lazer, cada cliente só pode desfrutar de cada tipo de lazer apenas uma vez. Não é permitido que em um mesmo dia, mais de um ingresso seja utilizado.

Considerando que um pacote de viagem não viola as regras descritas, a função utilidade atribuída à cada cliente é dada pela expressão (4.5).

$$Utilidade = 1000 - TravelPenalty + HotelBonus + FunBonus \quad (4.5)$$

sendo,

$$TravelPenalty = 100 * (|AAr - PA| + |AD - PD|); \quad (4.6)$$

$$HotelBonus = TT? * HP \quad (4.7)$$

$$FunBonus = AW? * AW + AP? * AP + MU? * MU \quad (4.8)$$

onde *TravelPenalty* representa a penalidade por o agente alterar os dias de preferência de viagem do cliente e *HotelBonus* e *FunBonus* o bônus dado pelo cliente por ele desfrutar, respectivamente, do hotel *Tampa Towers* e de cada um dos tipos de entretenimento. Já *TT?*, *AW?*, *AP?*, *MU?* são indicadores de presença (1) ou ausência (0) do bem correspondente.

Ao fim de cada jogo, o servidor TAC (detalhes na próxima seção), com base nas preferências dos clientes e dos bens adquiridos pelo agente, constrói pacotes de viagem de modo a maximizar a utilidade de cada cliente. É especificado para cada um deles, os dias em que eles viajarão, em qual hotel se hospedarão e quais eventos de lazer serão desfrutados. Um cliente recebe utilidade nula se não for possível obter um pacote válido.

A pontuação final do agente é a soma das utilidades dos oito clientes, menos as despesas do agente (vale ressaltar que a venda de ingressos faz com que o valor das despesas seja minimizado) e a penalidade por venda incorreta de ingressos (se aplicável).

Por exemplo, no jogo 28156, TAC-2005, o agente *e-Agent* recebeu uma carteira com as preferências de seus clientes conforme apresentada na Tabela 4.1. Ao fim do jogo, os bens que o agente adquiriu juntamente com o custo total podem ser vistos na Tabela 4.2. Com base na carteira apresentada na Tabela 4.1 e nos bens adquiridos mostrados na Tabela 4.2, a Tabela 4.3 apresenta um pacote de viagem para cada cliente do agente *e-Agent* que o servidor TAC gerou com sua respectiva utilidade e a pontuação final que o agente obteve.

Na Tabela 4.3, os campos **Ida** e **Volta** referem-se aos dias alocados para viagem. Já **Outros Custos** refere-se a: Despesa por compras efetuadas e não utilizadas + Penalidade por vendas ilícitas de ingressos - Lucro obtido via venda de ingressos. No contexto do jogo 28156, o agente *e-Agent* teve um lucro de \$180 com a venda de ingressos, porém acabou comprando e não utilizando alguns quartos de hotel, de modo que teve um prejuízo de \$113,81. Logo, \$113,81 - \$180,00 = -\$66,19.

Bens	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Custo
Vôo de Ida	5	2	1	0	0	2303.00
Vôo de Volta	0	2	2	3	1	2852.00
Hotel Tampa Towers	5	4	3	0	0	319.24
Hotel Shoreline Shanties	4	2	3	1	0	244.95
Luta de Crocodilo	1	4	0	0	0	45.00
Parque de Diversão	1	0	3	0	0	-52.59
Museu	2	1	0	4	0	184.06
Total						5895.65

Tabela 4.2: Bens possuídos pelo agente *e-Agent* ao fim do jogo 28156, TAC-Classic 2005.

4.4 Plataforma de execução do ambiente TAC-Classic: Estrutura e Comunicação

Em 2002, o Laboratório de Sistemas Inteligentes do Instituto Sueco de Ciências da Computação (SICS) passou a organizar a competição do TAC-Classic, estando até a atualidade em seu comando (ano de 2006). O SICS desenvolveu um servidor com código aberto (*open-source*), disponível gratuitamente para todos os competidores participantes do TAC-Classic, assim como para outros pesquisadores, estudantes e educadores desta área (Eriksson and Janson, 2002).

O servidor TAC-Classic foi escrito usando uma combinação de SICStus Prolog e Java. Como pode ser visto na Figura 4.2, ele é composto por vários módulos. O módulo “Comunicação com os Agentes” faz a comunicação com os agentes competidores. O módulo “Base de Dados” é responsável por disponibilizar as informações do jogo corrente (via *applet* Java) e o histórico dos jogos passados por meio de um servidor *web*, além de fazer a programação dos jogos e o gerenciamento dos participantes. Por último, o módulo “Servidor de Mercado” é responsável por simular o “mercado” em que os agentes estão inseridos.

É possível fazer um *download* do servidor e instalá-lo localmente para a execução de testes. Além disso, o SICS disponibiliza dois servidores remotos (tac1.sics.se e tac2.sics.se). A competição oficial acontece nestes servidores.

4.5 Ferramenta de Desenvolvimento de Agentes para o TAC-Classic

Em 2002, o SICS desenvolveu uma nova ferramenta de *software* para a construção de agentes para atuar no TAC-Classic: TAC - Classic AgentWare Java. Esta ferramenta fornece as primitivas essen-

Cliente	Ida	Volta	Hotel	Lazer	Utilidade	Custo	Pontuação
1	2	5	SS	Dia 2 - Luta de Crocodilo Dia 3 - Parque de Diversão Dia 4 - Museu	1397	940,54	456,46
2	1	2	TT	Dia 1 - Museu	1269	596,45	672,55
3	3	4	TT	Dia 3 - Parque de Diversão	1318	878,83	439,17
4	2	3	TT	Dia 2 - Museu	1271	771,11	499,89
5	1	2	TT	Dia 1 - Luta de Crocodilo	1323	577,64	745,36
6	1	4	TT	Dia 2 - Luta de Crocodilo Dia 3 - Parque de Diversão Dia 1 - Museu	1461	813,45	647,551
7	1	3	TT	Dia 2 - Luta de Crocodilo	1335	594,31	740,69
8	1	4	TT	Dia 2 - Luta de Crocodilo Dia 3 - Parque de Diversão	1351	789,51	561,49
Soma					10725	5961,85	4763,15
Outros Custos						-66,19	
Total					10725	5895,65	4829,35

Tabela 4.3: Bens possuídos pelo agente *e-Agent* ao fim do jogo 28156, TAC-Classic 2005.

ciais para o desenvolvimento de um agente para o TAC, permitindo desse modo que os participantes ficassem mais envolvidos com o desenvolvimento de suas estratégias.

O TAC - *Classic AgentWare* Java versão Beta 7 permite:

- Conexão automática, *login* e recuperação dos dados do jogo;
- Comunicação assíncrona com o servidor TAC;
- Acesso às últimas cotações de todos os leilões;
- Monitoramento das ofertas ativas;
- Monitoramento de todas as transações para que os agentes saibam o que eles possuem;
- Interface gráfica para mostrar o estado interno do agente, ofertas, posses, etc.

4.6 Uma Estratégia para o TAC-Classic: Um desafio

Desenvolver uma estratégia para o TAC-Classic é um desafio. Primeiramente, porque existem interdependências entre os leilões. Por exemplo, não adianta um agente comprar algum dos ingressos de lazer para um cliente no dia 1 se este só chegar no dia 2. Além disso, na compra de um voo para o

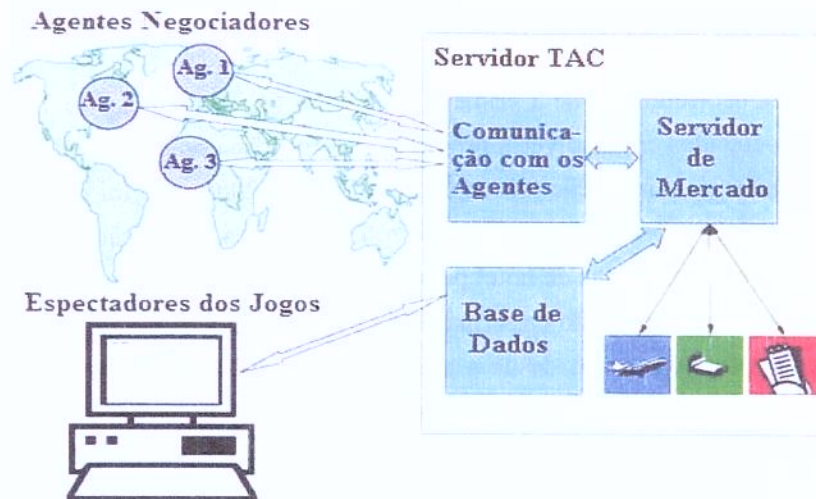


Figura 4.2: Servidor TAC-Classic.

dia 2, é necessário que o agente obtenha diárias em um hotel no dia 2. Se o cliente quiser ficar mais de um dia, terá que ser obtido diárias no mesmo hotel para os outros dias. Neste exemplo, cada um dos bens citados deverá ser adquirido em leilões diferentes, onde não necessariamente o agente terá sucesso em todos eles. Assim, o que comprar, quando e quanto comprar em um leilão depende do progresso dos outros leilões.

Além do problema da interdependência, há muita incerteza envolvida. Por exemplo, nos leilões de hotel, a ordem em que eles finalizam não é conhecida. Já os preços dos leilões de voo variam continuamente e aleatoriamente.

É importante ressaltar que os lances envolvem compromissos. Por exemplo, se no leilão de passagens aéreas um agente comprar todas as passagens muito cedo, ele pode vir a se prejudicar caso não consiga comprar os quartos de hotel em concordância com aqueles vôos. Por outro lado, se comprar as passagens após comprar todos os quartos de hotel necessários poderá adquirir as passagens por um preço muito alto.

Por fim, o ambiente TAC-Classic foi desenvolvido de modo que não há uma estratégia ótima que sempre garanta o sucesso de um agente. Isto ocorre porque a tomada de decisão do agente envolve muita incerteza devido a aspectos aleatórios do jogo, as estratégias dos outros agentes competidores e a combinações particulares dos oponentes (He and Jennings, 2003).

4.7 Agentes no TAC-Classic

Modificações ocorreram desde a primeira edição do TAC em 2000. No TAC-00, os agentes estavam mais preocupados em resolver o problema da alocação dos bens adquiridos entre os clientes. Este é um problema de otimização (Stone and Greenwald, 2005) que foi incorporado às funcionalidades do TAC no segundo ano. Além disso, de 2003 para 2004, a duração do jogo passou de 12 para 9 minutos, o término dos leilões de hotel passou a ser a partir do 1º minuto (antes era só a partir do 4º minuto) e houve uma alteração na forma como os preços dos leilões de voo são perturbados.

Vários artigos foram escritos desde a primeira competição², mostrando uma grande variedade de estratégias adotadas pelas diversas equipes. Tais publicações ressaltam a importância científica do TAC. Segue abaixo, descrições de alguns agentes que participaram do TAC-Classic juntamente com o ano de participação (muitos dos agentes participaram de várias competições oficiais, sempre realizando alterações ano a ano; portanto a descrição apresentada aqui nesta dissertação não é, necessariamente, aquela utilizada na atualidade pelos agentes).

4.7.1 Agente ATTac - 2001

Este agente ficou em segundo lugar na competição de 2001. O princípio deste agente foi o de nortear suas decisões, teoricamente ótimas, de acordo com uma previsão de lucros para situações hipotéticas (Stone et al., 2002).

A previsão de lucros assume o seguinte:

1. Os lances futuros dos leilões são previsíveis;
2. Os lances realizados pelo agente ATTac não têm um efeito considerável na economia;
3. O agente é livre para mudar seus lances nos leilões não finalizados;
4. Decisões futuras são realizadas com informação dos preços dos leilões.

Utiliza-se um modelo de programação linear inteira (PLI) para solucionar o problema através de um alocador.

Na previsão dos preços dos hotéis são utilizadas técnicas de aprendizado de máquina que examinam jogos prévios para prever os preços de jogos futuros. A estratégia utilizada permite a previsão do preço esperado e uma distribuição condicional inteira para que se possam fazer amostragens de preços de hotel. O problema de aprendizado é reduzido a um problema de regressão logística múltipla. Quanto ao leilão de voo, verifica-se vários cenários e se dentre eles algum voo sempre for apontado

²Artigos relacionados ao TAC são encontrados em <http://tac.eecs.umich.edu/researchreport.html>

como o melhor, ele é negociado logo em seguida. Por fim, os ingressos de lazer são negociados com base nos valores marginais esperados de cada ingresso.

4.7.2 Agente WhiteBear - 2002

A abordagem do primeiro colocado em 2002 foi gerar heurísticas específicas e experimentá-las para determinar as mais eficientes.

De acordo com o descrito em (Melo, 2003), nos leilões de hotel, o agente WhiteBear combina duas estratégias extremas. A estratégia A diz o seguinte “faça lances adicionados de um pequeno incremento ao preço corrente de cotação”. Enquanto que a estratégia B diz “faça lances com valores da utilidade marginal”. WhiteBear combina estas duas estratégias para formar a sua estratégia real, que fica no meio termo: “use a estratégia A, a menos que a utilidade marginal seja alta, neste caso use a B”.

Nos leilões de passagens aéreas, as estratégias são selecionadas pelo seu comportamento no início de cada jogo. As duas estratégias extremas são: “compre tudo” ou “compre apenas o que for absolutamente necessário”. Estas duas estratégias combinadas faz com que este agente faça lances da seguinte forma: “compre tudo, com exceção das passagens perigosas”. Passagens perigosas são aquelas que possuem diversificação entre os leilões de hotel.

WhiteBear não faz necessariamente os lances no conjunto ótimo de bens para seus clientes, como também não utiliza nenhuma técnica sofisticada de mecanismo de aprendizagem para a previsão dos preços de fechamento dos leilões de hotel. O desempenho do WhiteBear sugere que heurísticas de domínios específicos, em conjunto com experimentos extensivos, formam uma receita de sucesso para o jogo do TAC.

4.7.3 Agente SouthamponTAC - 2002

Na competição de 2002, este agente obteve o segundo lugar. A sua principal característica é possuir um comportamento adaptativo. Ele varia sua estratégia de ofertas de acordo com as condições de mercado. Estas por sua vez dependem do nível de competitividade do ambiente (He and Jennings, 2004).

A importância em se caracterizar a competitividade do ambiente reside em, uma vez esta informação sendo conhecida, ser possível escolher o momento certo de comprar vôos e ter uma idéia da magnitude dos lances a serem dados no leilão de hotel. Por exemplo, em um ambiente competitivo, regra geral, os lances a serem realizados devem ser maiores que os feitos em um ambiente não-competitivo.

Regras *fuzzy* são utilizadas na previsão dos lances dos leilões de hotel. No leilão de ingressos de

lazer, técnicas *fuzzy* determinam se o agente deve alterar os valores em que ele estaria, em princípio, disposto a realizar os lances. Quanto ao leilão de vôo, é utilizado um classificador que determina o melhor momento para a compra deste tipo de bem acontecer. Já o alocador é uma adaptação do modelo PLI utilizado pelo agente ATTac com um número menor de restrições.

4.7.4 Agente Thalís - 2002

Este agente obteve o terceiro lugar na competição de 2002. Ele utiliza um alocador que cria um conjunto de soluções para cada cliente e seleciona a ótima para cada um deles. Se houver um excesso de demanda em um determinado dia, um processo de pós-otimização é utilizado com o objetivo de reduzir tal demanda.

No leilão de passagens aéreas, o agente compra um número limitado de vôos no início do jogo para aproveitar os preços baixos iniciais e a parcela restante é comprada durante a execução do jogo para manter flexibilidade. Nos leilões de hotel, é realizada uma distribuição normal das cotações de preços dos últimos 10 jogos e com base nestes é feita a estimativa dos preços.

Por fim, no leilão de ingressos de lazer, o agente Thalís só compra os ingressos depois do 6º minuto de jogo. Ele observou que a partir deste instante os preços tendem a decrescer. Já a venda de ingressos é efetuada a partir do 1º minuto. Os ingressos são vendidos pelo maior preço possível e comprados pelo menor preço possível. Os preços dependerão do bônus fornecido pelos clientes para desfrutar os eventos de lazer (Fasli and Poursanidis, último acesso em 12/2005).

4.7.5 Agente UMBCTac - 2002

Este agente ficou em quarto lugar na competição de 2002. Ele realiza a alocação das passagens aéreas e dos quartos de hotel no início do jogo e mantém essa alocação independentemente do rumo que os preços venham a tomar. A heurística de alocação utilizada solicita bens lucrativos que não oferecem riscos, ou seja, bens com uma demanda inferior à oferta. As previsões de preços utilizadas na alocação dos bens são feitas com base nos últimos jogos, pois este agente acredita que a média se mantém, e caso ocorram mudanças elas não são tão gritantes.

A alocação dos bens é separada em dois grupos: passagens aéreas/reservas de hotel e ingressos de lazer. Isso traz a vantagem de reduzir o espaço de busca.

Para se avaliar as pontuações obtidas por cada pacote de viagem via alocador é preciso determinar o custo de se obter os quartos de hotel e os ingressos. Como as passagens aéreas são compradas logo no início do jogo, sabe-se imediatamente o custo total associado com a compra. O custo dos ingressos de lazer é calculado por uma função que considera o bônus obtido por se conseguir um ingresso para um dado cliente, uma constante que mede o grau de valia do bônus e os ingressos já adquiridos (Ding

et al., 2003).

4.7.6 Agente Walverine - 2002

Este agente obteve o sexto lugar na competição de 2002. Para ele, o ambiente TAC-Classic pode ser visto como uma economia competitiva (Cheng et al., 2005), isto é, o comportamento dos oito agentes pode ser aproximado por um modelo no qual cada um se comporta de acordo com as características de uma competição perfeita. Uma consequência de tal abordagem é que este agente não depende substancialmente de dados empíricos como entrada.

O alocador, baseado nos bens já possuídos e em preços estimados, calcula um pacote ótimo de viagem, junto com a utilidade marginal de cada bem disponível.

Os vãos são comprados logo no início, já que estes tendem a aumentar de preço. A escolha dos vãos a serem comprados depende das preferências dos clientes e de uma previsão inicial a respeito dos preços de hotel. Depois disso, antes de cada um dos leilões de hotel finalizar é recalculado um pacote de viagem ótimo e de acordo com o resultado novos vãos podem ser comprados.

A previsão dos preços do leilão de hotel é calculada com base no equilíbrio competitivo de *Wal-sarian* da economia do TAC-Classic, definido como o conjunto de preços no qual todos os mercados seriam contemplados. Portanto, Walverine tenta encontrar um conjunto de preços de hotel que suportaria tal equilíbrio e retorna estes valores como previsão para os preços dos hotéis. A determinação dos preços no equilíbrio competitivo é realizada por meio do *tatonnement protocol* (Cheng et al., 2005). Após a previsão inicial, pequenas mudanças são feitas no procedimento acima descrito, por exemplo, são considerados novos fatores como a cotação dos preços dos hotéis.

Já nos leilões de ingressos de lazer, a estratégia utilizada faz uso de aprendizagem por reforço (algoritmo *Q-learning*).

4.7.7 Agente LearnAgents - 2004

Este agente ficou em terceiro lugar no ano de 2004. Ele é um sistema multi-agentes que utiliza uma memória compartilhada com os seguintes agentes (Sardinha et al., 2005):

1. Sensores de Passagens Aéreas, Reservas de Hotel e Ingressos de Lazer: Coletam informações dos leilões e compartilham essas informações com outros agentes;
2. Preditores de Preço: São capazes de prever as cotações dos preços dos leilões de voo e de hotel;
3. Alocador Mestre e Escravos: Os escravos analisam diferentes cenários e o mestre combina estes cenários disponibilizando-os na memória compartilhada;

4. Ordenador: Com base nos cenários calculados pelos agentes alocadores, ele emite ordens de compras para os agentes negociadores informando quantos bens devem ser comprados e o valor máximo do lance que pode ser dado para um determinado bem.
5. Negociadores de Vãos, Hotéis e Ingressos de Lazer: Realizam as compras;
6. Monitor: Responsável por armazenar informações da base de conhecimento em um banco de dados. Com base nesses dados é possível monitorar a performance de cada agente individualmente e o sistema multi-agente como um todo.

Os agentes sensores captam as cotações de preço e passam ao agente preditor de preço. Este utiliza média móvel para prever os futuros lances dos hotéis e a estratégia da máxima vizinhança para se prever a variável escondida nos leilões de vão. Essa informação vai para o agente alocador que calcula diferentes cenários, cada um definindo um conjunto de bens a se comprar e seu preço máximo. O agente de ordem de compra calcula a quantidade de bens que deve ser comprada e passa a informação aos agentes negociadores. Estes usam uma técnica de busca chamada MAX e MIN junto com um processo de otimização para se determinar o menor lance possível a ser dado nos leilões de hotel. Quanto ao leilão de vão, as compras são feitas pelo valor de cotação, e os eventos de lazer são comprados pelo preço pedido no mercado e vendem os preços pelo valor sugerido pelo alocador com um incremento extra.

4.7.8 Agente Mertacor - 2005

Este agente ficou em primeiro lugar na competição de 2005 (Panagiotis et al., último acesso em 12/2005). Para ele, a decisão do momento de comprar vãos leva em consideração quatro critérios. Estes são determinados via análise *Bayesiana*, cálculo integral e análise de jogos específicos. Nos leilões de hotel, a estratégia empregada faz uso de regras *fuzzy* e teoria de fluxo de redes. Nesse caso, considera-se também a perda de utilidade em não se obter o número de quartos desejados. Nos leilões de ingresso de lazer, a negociação só ocorre se garantir ao agente Mertacor um lucro aceitável, cujo valor depende do tempo do jogo. É usado um modelo PLI para determinar quais hotéis e vãos comprar.

4.8 Resumo

Este capítulo descreveu o ambiente TAC-Classic. Construir um agente para atuar nesse cenário é um desafio porque o TAC-Classic foi desenvolvido de modo que não há uma estratégia ótima que sempre garanta o sucesso de um agente. As descrições apresentadas dos agentes ressaltam a grande

variedade de técnicas que já foram utilizadas, mostrando que o cenário TAC-*Classic* é um ambiente complexo e representativo para estudo e desenvolvimento na área de agentes atuando em leilões simultâneos heterogêneos com bens inter-relacionados.

Capítulo 5

Projeto de um Agente para o TAC-Classic

O objetivo desta dissertação é desenvolver um agente para atuar em leilões eletrônicos simultâneos heterogêneos com bens inter-relacionados. O ambiente TAC-Classic, por simular um mercado de agência de viagem cujos bens são negociados em leilões simultâneos, se enquadra plenamente no contexto desta dissertação. Neste capítulo e nos próximos, será apresentado o agente *e-Agent* o qual foi desenvolvido para atuar no TAC-Classic. Serão fornecidos detalhes de cada uma das estratégias que ele utiliza. Este capítulo, em particular, fornece uma visão geral dos módulos que compõem a arquitetura do agente *e-Agent* e apresenta uma arquitetura geral a ser utilizada em leilões simultâneos com bens inter-relacionados.

5.1 Procedimentos Gerais

Ao projetar um agente para atuar no TAC-Classic, independentemente das técnicas utilizadas no desenvolvimento de sua estratégia, algumas decisões devem ser tomadas. O Algoritmo 5.1 mostra as decisões a serem tomadas pelo agente. A ordem na qual estas são realizadas variam de acordo com a estratégia utilizada (Greenwald and Stone, 2001; Wellman et al., 2002). A seguir são discutidas as

Algoritmo 5.1 Agente TAC-Classic

fazer

Obtenha os valores de cotação do servidor;
Decida quais bens e em quais quantidades realizar lances;
Decida o valor de tais lances;
Decida o momento certo de realizar os lances;

enquanto O jogo está em andamento.

etapas apresentadas no Algoritmo 5.1.

5.1.1 Decidir quais bens e em quais quantidades realizar lances

A escolha dos bens para a realização de lances, bem como suas respectivas quantidades, deve levar em consideração as preferências dos clientes (os dias em que eles desejam viajar e o bônus de se hospedar no hotel TT e de desfrutar as atrações de lazer), o preço a ser pago pelos bens que eles almejam (seja o preço corrente, seja o preço previsto) e os bens já adquiridos pelo agente (para evitar desperdícios).

Montar um pacote de viagem conforme a preferência de um dado cliente, porém por um preço muito elevado, pode não ser a melhor solução. Nesse caso, pode ser preferível montar um pacote alternativo, diferente em alguns aspectos do que o cliente deseja, mas por um preço melhor. Se uma parcela dos bens que compõem um pacote de viagem já foi obtida, caso se perceba que os bens restantes só poderão ser adquiridos por um preço alto e diante disso for preferível montar um pacote alternativo, é importante que seja verificado se os bens já adquiridos podem ser aproveitados.

Ao fim do jogo, com base nos bens possuídos pelo agente e nas preferências de seus clientes, o servidor monta pacotes válidos para os clientes de modo a maximizar as suas utilidades. Entretanto, mesmo não sendo tarefa do agente realizar essa alocação, o agente não deve sair comprando e vendendo bens de forma aleatória. Ele precisa, durante o jogo, realizar compras e vendas tendo em mente se estas ações vão refletir, no futuro, em pacotes válidos com utilidades altas. Portanto, faz-se necessário para o agente ao realizar suas compras analisar o compromisso entre o que comprar para atender as preferências dos seus clientes (quantidade) *versus* não gastar muito dinheiro (reduzir custos).

Uma alternativa a ser utilizada durante a tomada de decisão de quais bens comprar juntamente com suas respectivas quantidades, tendo como objetivo obter ao fim do jogo utilidade alta para cada um dos clientes é o uso de Programação Linear Inteira (PLI) (He and Jennings, 2004; Stone et al., 2002). A esta alternativa será dado o nome de Alocaador.

5.1.2 Decidir o valor de um lance

Em relação ao leilão de voo, os agentes competidores não têm como interferir no valor desse bem. Cabe a eles apenas decidir se é melhor comprar no momento atual ou esperar mais um pouco.

Quanto ao leilão de hotel, o preço deste bem é função dos lances realizados pelos agentes competidores durante uma instância do jogo. Uma vez que o agente tenha decidido que quer certa quantidade de quartos em um dado dia/hotel ele deve realizar um lance cujo valor seja capaz de arrematar este bem. Dentro do contexto deste leilão, o lance deve estar entre as 16 maiores ofertas.

O ideal é que o lance esteja entre as maiores ofertas, mas com valor não muito grande. Obviamente, se o valor deste for muito alto, provavelmente o agente levará o bem ao término do leilão e não

pagará o valor de seu lance e sim do 16º maior lance (que provavelmente não será o seu). Entretanto isso pode não ser uma boa estratégia. Caso o leilão não termine no momento em que o agente realizou um lance exorbitante, agentes que também tenham interesse neste leilão, ao ver que suas ofertas de baixo valor não estiveram entre as 16 maiores ofertas, podem aumentar seus lances, fazendo com que ao fim do leilão o hotel tenha um custo muito elevado. Vale ressaltar, que não é possível a retirada de lances nesse leilão.

É importante, ao realizar um lance em um leilão de hotel, o uso de algum mecanismo que permita prever o valor ideal deste lance, ou seja, um valor que permita que o lance realizado esteja entre as 16 maiores ofertas por um valor não muito elevado. A esse mecanismo será dado o nome de *Preditor Leilão de Hotel*. (He and Jennings, 2004) utilizou com sucesso uma base de regras *fuzzy* para fazer a previsão dos lances a serem feitos nesse leilão.

Por fim, quanto ao leilão de ingressos de lazer, o valor das ofertas de compra e venda do agente deve ser de tal modo que contribua com uma melhora em sua pontuação final sem que isso tenha o mesmo efeito para seus competidores, ou seja, quando o agente em questão estiver agindo como vendedor (comprador), o lucro do agente comprador (vendedor) não deve ser maior que o seu lucro.

5.1.3 Decidir o momento certo de se realizar um lance

A quantidade de vôos a serem vendidos é ilimitada. Os preços do vôo mudam a cada 10s, tendo grande possibilidade de aumentar seu valor, conforme será visto no Capítulo 6. Os agentes devem analisar o compromisso entre comprar mais cedo e com isso talvez vir a pagar menos, ou adiar a compra mesmo que venha a pagar mais caro com o benefício, nesse caso, de ganhar informação sobre o andamento dos leilões de hotel. Por exemplo, se um cliente de um agente quer viajar no dia 1 e voltar no dia 3, o agente pode até comprar logo a passagem de ida no dia 1 se ela estiver por um bom preço. Entretanto, se o agente não conseguir uma reserva no hotel no dia 1, a compra de vôo será inútil.

Já no leilão de hotel, uma vez que ao fim de cada minuto um dos leilões termina, tão logo o agente tenha interesse em possuir uma reserva em um hotel para um dado dia, ele deve realizar um lance imediatamente.

Quanto aos leilões de ingresso de lazer, assim que o agente se interesse em comprar (vender) algum ingresso, ele pode realizar um lance com o valor máximo (mínimo) no qual ele paga (vende) por tal bem. Com o decorrer do jogo, se sua oferta de compra (venda) não for contemplada, ele pode variar sua oferta, conforme as cotações de preços.

5.2 Visão Geral do agente de viagem *e-Agent*

O agente *e-Agent* foi construído de modo a seguir os procedimentos gerais descritos na seção anterior. Resumidamente, ele utiliza as seguintes estratégias:

- Estratégia para o leilão de voo

Essa estratégia vai determinar o momento propício para o agente comprar os voos. Isto é feito, relacionando-se as cotações de preços recebidas a três categorias de leilão de voo. A primeira delas afirma que os preços tendem a diminuir e depois de um certo período de tempo a aumentar. Já a segunda e a terceira indicam que os preços tendem a respectivamente, diminuir e aumentar durante todo o jogo. Por exemplo, para a categoria 2, uma boa idéia é realizar as compras no fim do jogo, pois os preços tenderão a diminuir.

- Estratégia para o leilão de hotel

Essa estratégia prever o valor do lance que o agente deve fazer para o leilão de hotel de modo que sua oferta permaneça entre as 16 maiores ofertas (condição de validade), porém por um valor não muito elevado. No minuto inicial, a previsão é realizada com base na média aritmética dos lances realizados no primeiro minuto de jogo dos últimos 6 jogos. A partir daí, as previsões são realizadas através de um sistema *fuzzy* proposto em (He and Jennings, 2004) e aqui otimizado via um algoritmo genético.

- Estratégia para o leilão de ingresso de lazer

Para este leilão, procedimentos simples são utilizados para indicar o momento em que devem ser feitos os lances para a compra/venda de ingressos e seus respectivos valores.

- Alocador

O alocador é responsável por determinar quais voos e quartos de hotel devem ser obtidos, além de alocá-los de forma ótima juntamente com os bens já possuídos entre os clientes do agente. Nesta alocação, considera-se os preços dos bens a serem adquiridos. Ele é um modelo PLI baseado em (He and Jennings, 2004).

A Figura 5.1 ilustra a arquitetura do agente *e-Agent*. Seus módulos implementam as estratégias citadas. O módulo Ambiente/Servidor TAC é responsável, dentre outras atribuições descritas no Capítulo 4, por simular o mercado onde os agentes estão inseridos, pelo recebimento dos lances feitos pelos agentes, por disponibilizar informações sobre o jogo corrente e sobre a validade/sucesso das ofertas feitas pelos agentes.

O agente de viagem *e-Agent* é um agente baseado na utilidade. A cada possível ação que ele planeja é associado um valor ou uma utilidade e ele age de modo a maximizar esse valor.

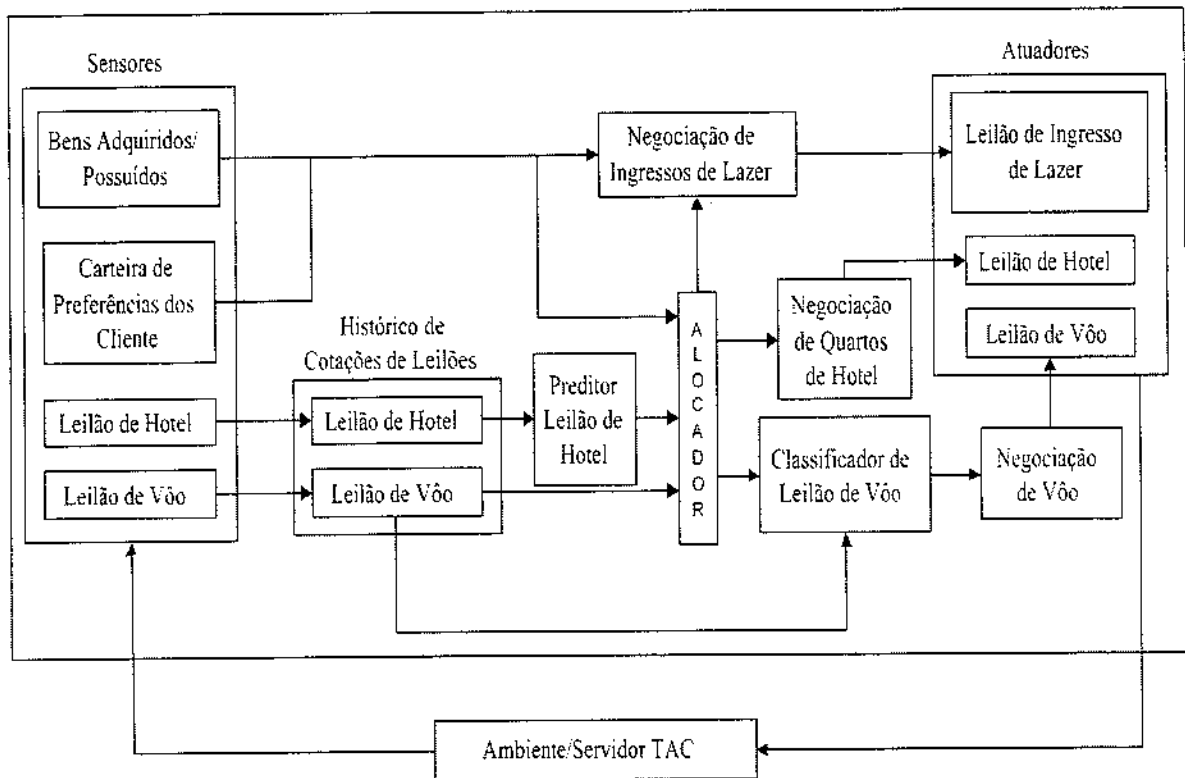


Figura 5.1: Arquitetura do agente e-Agent.

Ele tem sensores que captam informações relativas às cotações atuais dos leilões de voo e hotel, bem como das preferências dos seus clientes e dos bens que já foram adquiridos ou possuídos. Não há sensores para o leilão de ingressos de lazer porque a estratégia desenvolvida para tratar esse tipo de leilão não se baseia nas suas cotações.

O módulo Histórico de Cotações de Leilões armazena todas as cotações relativas aos leilões de hotel e de voo. Em relação aos primeiros, as cotações do jogo corrente são recebidas e armazenadas a cada minuto (momento em que um dos leilões termina). Quanto aos últimos 6 jogos, mantém-se um registro das cotações do minuto inicial. No caso das cotações dos leilões de voo, elas são recebidas e armazenadas a cada 30 segundos (embora o preço de voo seja perturbado a cada 10s, a versão de *software* utilizada para implementação do agente *e-Agent*, TAC Classic Java AgentWare Beta 7, só permite o recebimento de cotações de voo a cada 30s.)

O módulo Preditor de Leilão de Hotel faz as previsões dos lances a serem realizados para o leilão de hotel. Para o minuto inicial, ele utiliza o histórico das cotações dos preços do leilão de hotel dos últimos 6 jogos (minuto inicial) e para os demais minutos ele utiliza as cotações de preço do jogo corrente. Este módulo faz parte da estratégia utilizada pelo agente *e-Agent* para a compra de quartos de hotel. O Capítulo 7 descreve este preditor.

O módulo Alocador determina quais quartos de hotel e voos devem ser obtidos. Ele também indica pacotes de viagem para cada um dos clientes de modo a maximizar a utilidade de cada um deles. Para isto, ele faz uso dos valores dos lances previstos pelo módulo Preditor Leilão de Hotel, cotações atuais dos leilões de voos, bens já adquiridos/possuídos e carteira de preferência dos clientes. Ele é acionado no momento inicial do jogo e após isso, de minuto em minuto, imediatamente após o recebimento das cotações dos leilões de hotel. O Capítulo 9 apresenta este módulo que é o responsável pela estratégia do alocador.

Uma vez o módulo Alocador tendo informado a quais leilões de hotel devem ser realizados lances, o módulo Negociação de Quartos de Hotel (Capítulo 7 relata a seu respeito) verifica se é preciso fazer algum ajuste em relação aos preços previstos pelo módulo Preditor Leilão de Hotel. Estes ajustes referem-se à aumentar ou diminuir um pouco o valor do lance a ser realizado no leilão de hotel. A estratégia utilizada nos leilões de hotel engloba os módulos Preditor Leilão de Hotel e Negociação de Quartos de Hotel.

Os voos indicados pelo módulo Alocador para serem comprados são entradas para o módulo Classificador de Leilão de Voo. Este, com base no histórico de cotações dos voos determinará a categoria correspondente do leilão de voo em questão. Com base na categoria, o módulo Negociação de Voo irá determinar imediatamente se a compra dos voos deve ser feita no momento presente ou se é melhor esperar. Ambos os módulos são descritos no capítulo 6 e são utilizados na estratégia do agente para os leilões de voos.

O módulo Negociação de Ingressos de Lazer decide quais ingressos devem ser comprados e/ou vendidos. Essa decisão se baseia nos pacotes de viagem montados pelo módulo Alocador, nos ingressos que o agente já possui e na preferência da cada um de seus clientes por desfrutar os eventos de lazer. Ele implementa a estratégia utilizada nos leilões de ingresso de lazer que será descrita detalhadamente no Capítulo 8.

Por fim, as informações de ordem de compra e venda são repassadas aos atuadores que realizarão o envio de lances ao Servidor TAC para a compra/venda de bens.

5.3 Generalização da Arquitetura

Generalizações da arquitetura apresentada na Figura 5.1 podem ser utilizadas em domínios análogos aos leilões eletrônicos simultâneos heterogêneos com bens inter-relacionados. Para atuar nestes domínios, um agente necessita de mecanismos de processamento e filtragem de informação, estratégias de decisão, previsão, alocação de recursos e atuação.

A Figura 5.2 mostra uma arquitetura com os componentes básicos para a construção de agentes voltados para leilões simultâneos com bens inter-relacionados.

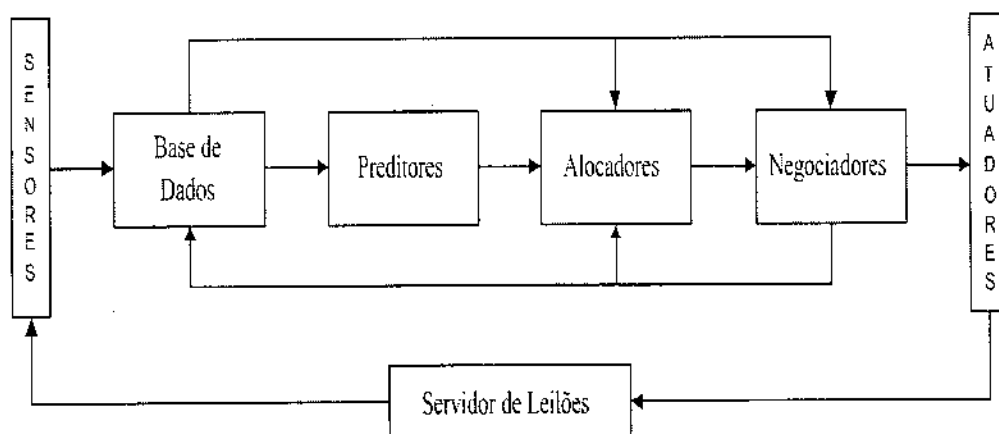


Figura 5.2: Generalização da Arquitetura.

Os componentes básicos destacados na Figura 5.2 são os Sensores, Base de Dados, Preditores, Alocadores, Negociadores e Atuadores. Sensores são utilizados para o recebimento de informações do mercado no qual o agente está inserido. A Base de Dados armazena estas informações para que o agente possa consultá-las e com isso identificar, por exemplo, tendências de preços, perfis de competidores, características do mercado, decisões anteriores feitas pelo próprio agente, entre outros dados.

Os Preditores identificam tendências. As estratégias de previsão devem ser construídas em consonância com as características do mercado. Os Alocadores, com base nas informações produzidas pelos Preditores e armazenadas na Base de Dados, selecionam um conjunto de bens a ser obtido e sugerem a quantidade de cada um deles. Já os Negociadores analisam a ordem de compra e venda fornecida pelos Alocadores, os valores sugeridos pelos Preditores e selecionam os lances que serão realizados e os valores correspondentes. Esta decisão é informada aos Atuadores. Eles enviam estas decisões ao servidor do mercado de leilões.

5.4 Resumo

Este capítulo apresentou uma visão geral do agente *e-Agent* construído para atuar em leilões eletrônicos simultâneos heterogêneos com bens inter-relacionados. Forneceu-se uma arquitetura específica para o TAC-Classic e uma generalização desta arquitetura para domínios similares. Os próximos quatro capítulos detalham cada uma das estratégias utilizadas pelo agente *e-Agent* no TAC-Classic.

Capítulo 6

Estratégia para o TAC-Classic: Leilão de Vôo

Este capítulo descreve em detalhes a estratégia desenvolvida para ser utilizada pelo agente *e-Agent* nos leilões de vôo. Ela é composta de dois módulos: Classificador de Leilão de Vôo e Negociação de Vôo. O primeiro está descrito nas seções 6.1 a 6.4. Já o segundo é apresentado na seção 6.5.

6.1 Características

O leilão de vôo, conforme descrito no Capítulo 4, é regido por um processo estocástico do tipo *random walk*. Os preços iniciais das passagens aéreas de todos os leilões de vôo são escolhidos aleatoriamente entre \$250 e \$400 e são perturbados a cada 10 segundos por um valor aleatório extraído de forma uniforme de:

$$[-10, f(x, t)], \text{ se } f(x, t) > 0 \quad (6.1)$$

$$[f(x, t), 10], \text{ se } f(x, t) < 0 \quad (6.2)$$

$$[-10, 10], \text{ se } f(x, t) = 0 \quad (6.3)$$

sendo $f(x, t)$ definida como:

$$f(x, t) = 10 + \frac{t}{9}(x - 10) \quad (6.4)$$

e t sendo o tempo em minutos de duração do jogo e x uma realização de uma variável aleatória inteira com distribuição uniforme no intervalo de $[-10, 30]$ escolhida para cada leilão de vôo no início de cada instância do jogo. Os preços dos vôos e as perturbações assumem sempre valores inteiros.

Independentemente da perturbação adicionada ao preço, este se restringe ao intervalo entre \$150 e \$800.

A função $f(x, t)$ depende de dois parâmetros: o instante atual t do jogo e a variável x . O valor

de $f(x, t)$ irá determinar de qual intervalo será extraída a perturbação (seja ela positiva ou negativa) que vai incidir sobre o preço corrente do voo. A próxima seção analisa como a variável x influencia o comportamento da função $f(x, t)$.

6.2 Categorias do leilão de voo

Dependendo da atribuição dada à variável x no início de cada jogo para cada um dos leilões de voo, estes leilões podem apresentar comportamentos bem distintos. As próximas subseções analisam estes comportamentos.

6.2.1 Categoria de leilão de voo 1

A Figura 6.1 mostra os gráficos da função $f(x, t)$ quando x assume os valores de -10 a -1 .

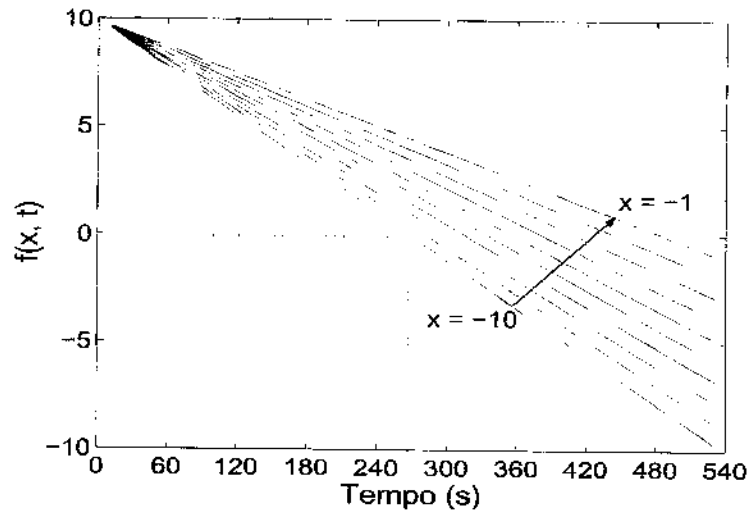


Figura 6.1: Função $f(x, t)$ com a variável $x \in [-10, -1]$.

Através da Figura 6.1, pode-se observar que todas as curvas $f(x, t)$ (uma curva para cada $x \in [-10, -1]$) até o tempo de 270s estão sempre acima de 0. Desse modo a perturbação incidente sobre o preço do voo será determinada pelo intervalo (6.1), ou seja, dentre $[-10, f(x, t)]$.

O valor da função $f(x, t)$ para todas as curvas até o tempo de 270 segundos será menor que 10 e estará diminuindo. Desse modo, o limite superior do intervalo $[-10, f(x, t)]$ estará diminuindo. Há, portanto, uma maior probabilidade de que a perturbação de preço seja negativa, fazendo com que o preço do voo tenda a diminuir.

Entretanto, a partir de 270 segundos, cada uma das curvas $f(x, t)$ (cada uma ao seu tempo) assume o valor 0 e posteriormente menor que 0. Nesse caso, a perturbação no preço do vôo é determinada, respectivamente, pelo intervalo (6.3) $([-10, 10])$ e o intervalo (6.2) $([f(x, t), 10])$. Em relação ao intervalo (6.3) $([-10, 10])$, a probabilidade do preço diminuir ou aumentar é a mesma, já que o intervalo possui limites simétricos. Já em relação ao intervalo da expressão (6.2) $([f(x, t), 10])$, embora o valor $f(x, t)$ esteja diminuindo, este nunca atingirá o valor de -10, logo o preço tenderá a aumentar com o tempo uma vez que no intervalo em questão a faixa de valores positivos será maior que a de negativos.

Esse comportamento será classificado como categoria de leilão de vôo 1: preços dos vôos tendem a diminuir no início do jogo e depois de um certo período a aumentar.

6.2.2 Categoria de leilão de vôo 2

Quando a variável x assume valores do intervalo $[0, 9]$, o comportamento da função $f(x, t)$ pode ser visto na Figura 6.2.

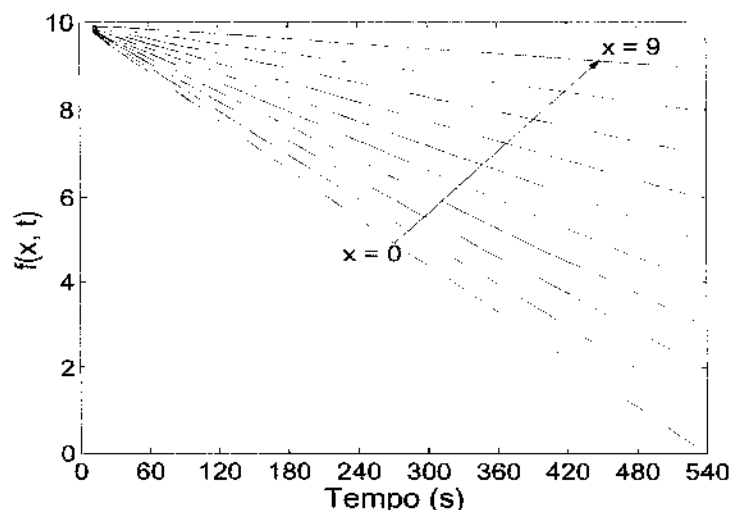


Figura 6.2: Função $f(x, t)$ com a variável $x \in [0, 9]$.

Através da Figura 6.2, pode-se observar que todas as curvas $f(x, t)$ (uma curva para cada $x \in [0, 9]$) durante todo o tempo do jogo estão sempre acima de 0. Desse modo a perturbação incidente sobre o preço do vôo será determinada por (6.1) $([-10, f(x, t)])$.

O valor da função $f(x, t)$ para todas as curvas será menor que 10 e estará diminuindo. Desse modo, o limite superior do intervalo $[-10, f(x, t)]$ estará diminuindo, fazendo com que o intervalo

em questão tenha mais valores negativos que positivos. Há, portanto, uma maior probabilidade de a perturbação de preço ser negativa, fazendo com que o preço do voo tenda a diminuir.

Esse comportamento será classificado como categoria de leilão de voo 2: os preços dos voos tendem sempre a diminuir.

6.2.3 Categoria de leilão de voo 3

Quando a variável x assume valores do intervalo $[10, 30]$, a função $f(x, t)$ tem o comportamento da Figura 6.3.

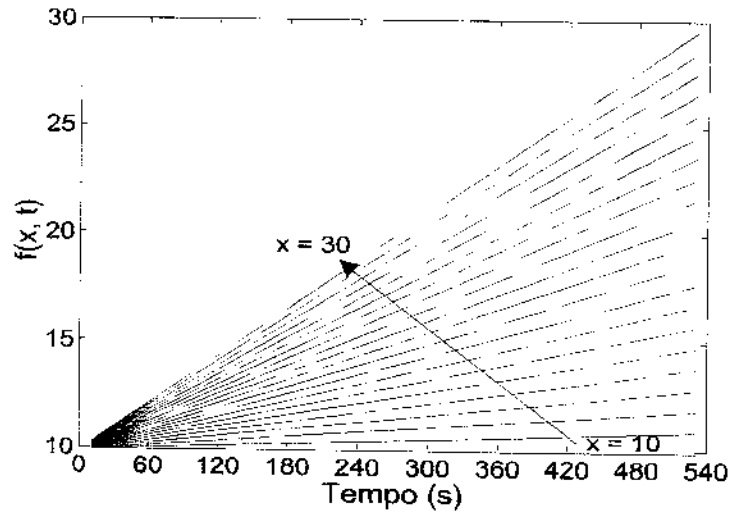


Figura 6.3: Função $f(x, t)$ com a variável $x \in [10, 30]$.

Observa-se na Figura 6.3 que todas as curvas $f(x, t)$ (uma curva para cada $x \in [10, 30]$) durante todo o tempo do jogo estão sempre acima de 0. Desse modo a perturbação incidente sobre o preço do voo será determinada por (6.1) $([-10, f(x, t)])$.

O valor da função $f(x, t)$ para todas as curvas será maior que 10 e estará aumentando. Logo, o limite superior do intervalo $[-10, f(x, t)]$ estará aumentando, fazendo com que o intervalo em questão tenha mais valores positivos que negativos. Há, desse modo, uma maior probabilidade de a perturbação de preço ser positiva, fazendo com que o preço do voo tenda a aumentar.

Essa será a categoria de leilão de voo 3: preços tendem a aumentar sempre.

6.3 Vetor de Perturbações Médias

No leilão de vôo do TAC-Classic, a cada cotação recebida, os agentes participantes devem decidir se a compra deve ser realizada de imediato ou não. Saber a qual das categorias de leilão de vôo o leilão pertence pode ser importante: se a categoria for 1 (os preços tendem a diminuir e depois de um certo período de tempo aumentar), seria interessante adiar a compra até pelo menos 270 segundos de duração do jogo; se a categoria for a 2 (os preços tendem a diminuir) o ideal seria adiar a compra até os instantes finais do jogo; por fim, se a categoria for a 3 (os preços tendem a aumentar) uma boa idéia seria realizar a compra no início do jogo.

A estratégia desenvolvida nesta dissertação para o leilão de vôo consiste em associar, durante o jogo, as cotações de preço recebidas destes leilões a uma das categorias já apresentadas. Isso é feito com base em um vetor chamado de Vetor de Perturbações Médias (VPM). Elabora-se um vetor VPM para cada uma das categorias. Esse procedimento será explicado nas quatro etapas seguintes:

1ª Etapa:

Calcula-se o valor da função $f(x, t)$ a cada 10 segundos, a partir de 10 segundos de jogo (é nesse momento que o preço do vôo é alterado pela primeira vez) para cada um dos valores que a variável x associada a cada categoria assume até o tempo de 510 segundos (momento em que a última cotação de preço é anunciada). Para cada uma das três categorias de leilão de vôo explicadas na seção anterior, cria-se uma matriz Φ^k (sendo k a categoria: 1, 2 ou 3) com os valores calculados da função $f(x, t)$. Cada linha da matriz Φ^k refere-se a um dos valores de x da respectiva categoria. Cada coluna refere-se a um instante de tempo. Para a primeira categoria, a variável x vai de -10 a -1. Assim, Φ^1 tem 10 linhas. Analogamente, Φ^2 tem 10 linhas (x de 0 a 9) e Φ^3 21 linhas (x de 10 a 30). As colunas de cada linha de cada matriz Φ^k referem-se ao tempo em segundos, sendo a primeira $t = 10$, e as demais $t = 20, 30, \dots, 510$. A expressão (6.5) exhibe a matriz Φ^1 correspondente à categoria 1. As matrizes Φ^2 e Φ^3 das categorias 2 e 3 são obtidas de forma análoga.

$$\Phi^1 = \begin{bmatrix} f(-10, 10) & f(-10, 20) & f(-10, 30) & \dots & f(-10, 510) \\ f(-9, 10) & f(-9, 20) & f(-9, 30) & \dots & f(-9, 510) \\ \vdots & & & & \\ f(-2, 10) & f(-2, 20) & f(-2, 30) & \dots & f(-2, 510) \\ f(-1, 10) & f(-1, 20) & f(-1, 30) & \dots & f(-1, 510) \end{bmatrix} \quad (6.5)$$

2ª Etapa:

Os elementos $\phi_{i,j}^k$ das matrizes Φ^k representam valores da função $f(x, t)$ que irão remeter a um intervalo de onde será extraída a perturbação sobre o preço corrente de vôo. Por exemplo, em $t = 30s$ e $x = -10$, tem-se $f(-10, 30) = 8,89$. Como $f(-10, 30) > 0$, a perturbação de preço será extraída do intervalo da equação 6.1, ou seja, do intervalo $[-10, 8]$ (arredondou-se o valor de 8,89). Uma maneira de representar os valores desse intervalo é calculando-se a média aritmética de seus elementos. Adota-se essa abordagem nesta etapa, calculando-se a média aritmética de todos os intervalos aos quais os elementos $f(x, t)$ das matrizes Φ^k correspondem. Neste exemplo em particular, a média aritmética dos valores presentes no intervalo $[-10, 8]$ é -1.

Assim, nessa etapa, três matrizes Δ^k são construídas, cada uma correspondendo a uma matriz Φ^k . Cada elemento das matrizes Δ^k ($\delta_{i,j}^k$) é a média aritmética dos valores presentes no intervalo obtido a partir do respectivo elemento das matrizes Φ^k ($\phi_{i,j}^k$). A expressão (6.6) apresenta a notação geral utilizada para as matrizes Δ^k :

$$\Delta^k = \begin{bmatrix} \delta_{1,1}^k & \delta_{1,2}^k & \delta_{1,3}^k & \dots & \delta_{1,51}^k \\ \delta_{2,1}^k & \delta_{2,2}^k & \delta_{2,3}^k & \dots & \delta_{2,51}^k \\ \vdots & & & & \\ \delta_{m_k-1,1}^k & \delta_{m_k-1,2}^k & \delta_{m_k-1,3}^k & \dots & \delta_{m_k-1,51}^k \\ \delta_{m_k,1}^k & \delta_{m_k,2}^k & \delta_{m_k,3}^k & \dots & \delta_{m_k,51}^k \end{bmatrix} \quad (6.6)$$

sendo m_k o número de linhas da respectiva matriz Φ^k , ou seja, $m_1 = 10$, $m_2 = 10$ e $m_3 = 21$.

3ª Etapa:

Embora o preço em cada leilão de vôo varie a cada 10 segundos, os agentes durante o jogo TAC-Classic só recebem cotações de preço de vôo a cada 30 segundos (agentes construídos utilizando o TAC Classic Java AgentWare Beta 7, inclusive o *e-Agent*). Sendo assim, é preciso agregar as informações de perturbação de preço em intervalos de 30 segundos, correspondendo a três elementos consecutivos das matrizes Δ^k . Nessa etapa, constrói-se as matrizes Ψ^k para cada uma das Δ^k , somando-se os valores $\delta_{i,j}^k$ presentes em cada intervalo de 30 segundos. A expressão (6.7) exhibe a matriz geral Ψ^k :

$$\Psi^k = \begin{bmatrix} \psi_{1,1}^k & \psi_{1,2}^k & \psi_{1,3}^k & \dots & \psi_{1,17}^k \\ \psi_{2,1}^k & \psi_{2,2}^k & \psi_{2,3}^k & \dots & \psi_{2,17}^k \\ \vdots & & & & \\ \psi_{m_k-1,1}^k & \psi_{m_k-1,2}^k & \psi_{m_k-1,3}^k & \dots & \psi_{m_k-1,17}^k \\ \psi_{m_k,1}^k & \psi_{m_k,2}^k & \psi_{m_k,3}^k & \dots & \psi_{m_k,17}^k \end{bmatrix} \quad (6.7)$$

$$\text{sendo } \psi_{i,j}^k = \sum_{l=3j-2}^{3j} \delta_{i,l}^k.$$

4ª Etapa:

Nessa última etapa para a obtenção dos vetores VPM^k , calcula-se a média aritmética dos valores presentes em cada coluna das matrizes Ψ^k . Este procedimento permite que cada vetor VPM^k represente toda a categoria correspondente. Cada elemento dos vetores VPM^k representa para a categoria k quanto, em média, o preço foi perturbado nos 30 segundos imediatamente anteriores. A expressão (6.8) exhibe a forma geral dos vetores VPM^k

$$VPM^k = \begin{bmatrix} \lambda_1^k & \lambda_2^k & \lambda_3^k & \dots & \lambda_{17}^k \end{bmatrix} \quad (6.8)$$

$$\text{sendo } \lambda_j^k = \frac{1}{m_k} \sum_{i=1}^{m_k} \psi_{i,j}^k.$$

Ao realizar as quatro etapas anteriores, obtém-se os vetores VPM^k conforme (6.9).

$$\begin{aligned} VPM^1 &= \begin{bmatrix} -1.60 & -2.95 & -4.10 & -5.50 & -6.75 & -8.00 & -9.35 & -10.60 & \dots \\ -11.35 & -7.70 & -3.50 & -0.25 & 1.95 & 3.60 & 4.90 & 6.00 & 6.75 \end{bmatrix} \\ VPM^2 &= \begin{bmatrix} -1.50 & -1.55 & -2.05 & -2.45 & -2.90 & -3.25 & -3.80 & -4.25 & \dots \\ -4.50 & -5.25 & -5.65 & -6.00 & -6.60 & -6.95 & -7.40 & -7.80 & -8.25 \end{bmatrix} \\ VPM^3 &= \begin{bmatrix} 0.07 & 0.76 & 1.57 & 2.40 & 3.19 & 4.07 & 4.86 & 5.69 & \dots \\ 6.60 & 7.40 & 8.19 & 9.07 & 9.86 & 10.69 & 11.50 & 12.33 & 13.12 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (6.9)$$

6.4 Identificação da Categoria do Leilão de Vôo Durante o Jogo

Para identificar a categoria do leilão de vôo durante o jogo na metodologia proposta, deve-se armazenar para cada um dos leilões de vôo todas as cotações de preços recebidas até o momento corrente. Então, a partir destas cotações, calcula-se um vetor com a diferença entre uma cotação e a imediatamente anterior. Tal vetor será denominado Vetor de Variação de Cotações (VVC). Comparando-se o vetor VVC com os três vetores VPM^k é possível identificar a categoria do leilão de vôo.

Essa comparação é baseada no cálculo do Erro Quadrático Médio (EQM) entre o vetor VVC e cada um dos VPM^k . Como o vetor VVC será construído durante o jogo, se até o momento corrente do jogo forem obtidas n cotações ($c_1, c_2, \dots, c_n$), então o vetor VVC terá dimensão $n - 1$ (para n cotações têm-se $n - 1$ variações de preço), e apenas os $n - 1$ primeiros elementos dos vetores VPM^k serão considerados nos cálculos do EQM.

O EQM entre dois vetores x e y de dimensão d é definido por (6.10):

$$\text{EQM} = \frac{1}{d} \sum_{i=1}^d (x_i - y_i)^2 \quad (6.10)$$

Assim, para $2 \leq n \leq 18$ (é preciso pelo menos duas cotações para se calcular a variação de preço), tem-se:

$$\text{VVC} = [c_2 - c_1 \quad c_3 - c_2 \quad \dots \quad c_n - c_{n-1}] \quad (6.11)$$

e

$$\text{VPM}^k = [\lambda_1^k \quad \lambda_2^k \quad \lambda_3^k \quad \dots \quad \lambda_{n-1}^k] \quad (6.12)$$

Logo, o EQM entre o vetor VVC e cada um dos vetores VPM^k será calculado como:

$$\text{EQM}^k = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} [(c_{i+1} - c_i) - \lambda_i^k]^2 \quad (6.13)$$

O índice k do menor EQM^k identificará a categoria k do leilão de vão analisado.

O procedimento exposto permite determinar durante o jogo a categoria de um leilão de vão. Ele representa o módulo Classificador de Leilão de Vão, já tendo sido apresentado no Capítulo 5.

6.5 Momento de Comprar Vãos

Conforme já indicado no Capítulo 5, o módulo Alocador é o responsável por indicar a quantidade de vôos a ser comprada em cada um dos seus respectivos leilões. Ele é acionado no momento inicial do jogo e após isso, de minuto em minuto, imediatamente após o recebimento das cotações dos leilões de hotel. No momento inicial do jogo, o alocador é utilizado apenas para indicar os quartos de hotéis a serem obtidos. Portanto, a partir do primeiro minuto, de minuto em minuto, o agente *e-Agent* deve decidir, dependendo da ordem de compra do módulo Alocador, se ele deve comprar de imediato os vôos ou não. Essa decisão é feita com base na categoria do leilão de vão fornecida pelo módulo Classificador de Leilão de Vão e imediatamente após a ordem de compra recebida.

Ao fim do primeiro minuto de jogo o agente *e-Agent* já terá recebido 3 cotações para cada leilão de vão, possibilitando encontrar já a categoria associada. Entretanto, quanto maior for o número de cotações recebidas, mais seguramente poderá ser feita essa associação. Infelizmente, não se pode deixar para os minutos finais a verificação da categoria do leilão de vão com sua conseqüente compra. Isso acontece devido ao processo que gera os preços dos vôos apresentar mais oportunidades do seu preço subir que diminuir.

Para verificar que o preço tem mais chance de aumentar que diminuir é só observar que para os

40 valores possíveis da variável $x \in [-10, 30]$, 20 deles pertencem a categoria 3 (preços sempre aumentam, $x \in [10, 30]$) e dos 20 restantes, 10 se referem a categoria 1 ($x \in [-10, -1]$) que faz com que os preços diminuam inicialmente, mas logo depois aumentem.

De minuto em minuto, o agente *e-Agent* receberá a informação de quais vôos comprar. Ele sempre os classificará em alguma categoria, mesmo que no minuto anterior já tenha realizado essa classificação. No caso, será atribuída ao leilão de vôo a categoria encontrada mais recentemente.

Se o agente *e-Agent* constatar que a categoria do leilão de vôo de seu interesse é a 1 (preços tendem a diminuir e depois a aumentar), ele adia a compra até 270 segundos de jogo. Se ela estiver de fato correta, nesse período de tempo o preço do leilão vai diminuir, logo é melhor esperar. Depois de 270 segundos (o preço tende a subir, entretanto, o momento em que ele sobe depende da variável x escolhida para o leilão), o agente verifica se houve um aumento de preço da última cotação para atual. Se houver o aumento, o agente compra apenas a metade da quantidade desejada (caso este valor não seja um número inteiro, seu valor será arredondado para baixo). Se não, a compra será adiada por mais 1 minuto, na esperança de que o preço diminua mais um pouco.

Se a categoria do leilão de vôo for a 2, ele adiará a compra para o último minuto do jogo pois nesse caso os preços tendem a diminuir.

Por fim, se a categoria do leilão de vôo for a 3, imediatamente será comprado a metade da quantidade de vôos desejada (mais uma vez, caso este valor não seja um número inteiro, seu valor será arredondado para baixo) já que os preços tenderão a aumentar.

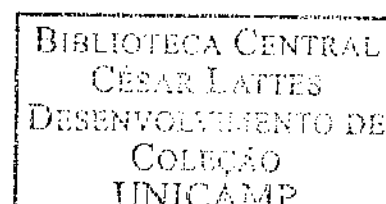
Na categoria 1 e 3, o agente compra apenas uma parcela do necessário, no caso a metade, para ganhar tempo. Com isso, ele recebe mais cotações do leilão de vôo de seu interesse e pode rever se a classificação está de fato correta. Contudo, no minuto final, independente da classificação, compra-se tudo. O valor da parcela citada foi determinado empiricamente a partir de experimentos realizados na competição oficial TAC-Classic 2005.

Uma outra vantagem em se adiar as compras dos vôos é garantir uma maior flexibilidade já que o agente *e-Agent* pode não conseguir comprar todos os hotéis desejados e com isso ser obrigado a modificar seu plano de compras (o agente precisa de quartos de hotel para todos os dias que passagens de ida forem compradas).

O processo de decisão do *e-Agent* em comprar um vôo de imediato ou não está implementado no módulo de Negociação de Vôo.

6.6 Resumo

Este capítulo apresentou uma estratégia desenvolvida para o agente *e-Agent* utilizar nos leilões de vôo. Para tal, foi feito inicialmente um estudo sobre a dinâmica deste leilão. Percebeu-se que ele



apresenta três comportamentos ou categorias distintas. Para comprar os vôos por um menor preço, faz-se necessário identificar a categoria do leilão de voo que se deseje negociar, pois ela determinará um momento propício para as compras. Cada categoria tem associada um vetor VPM . Durante o jogo, é possível identificar a categoria dos leilões de voo comparando-se via EQM os vetores VVC e VMP_k , $k \in \{1, 2, 3\}$. Os vetores VVC indicam as variações de preço entre cada cotação recebida. Com base na categoria, decide-se o momento da compra (módulo Negociação Voo). Para uma maior flexibilidade e possibilidade de rever a classificação do leilão de voo em uma dada categoria, dependendo desta, compra-se apenas uma parcela dos vôos necessários.

Capítulo 7

Estratégia para o TAC-Classic: Leilão de Hotel

Este capítulo descreve a estratégia utilizada pelo agente *e-Agent* nos leilões de hotel. Uma boa estratégia para este leilão deve contemplar algum método que permita fazer previsão de lances que acarretem ao fim deste tipo de leilão na compra de quartos. O agente SouthamptonTAC (He and Jennings, 2004), 2º lugar na competição de 2002 (detalhes podem ser obtidos na seção 4.7.3), utilizou para fazer a previsão dos preços do leilão de hotel a partir do 2º minuto de jogo um sistema baseado em regras *fuzzy* do tipo Takagi-Sugeno (TS). Para melhorar este sistema, no contexto desta dissertação, foi utilizado um algoritmo genético para otimizar suas funções de pertinência e os consequentes das regras.

A estratégia desenvolvida para o leilão hotel englobará os módulos Preditor Leilão de Hotel (seções 7.4.1 e 7.4.2) e Negociação de Quartos de Hotel (seções 7.4.3 e 7.4.4). Enquanto o primeiro fará a previsão de lances, o segundo fará ajustes, caso necessário, nas ofertas realizadas nos leilões de hotéis.

7.1 Sistemas Genético-Fuzzy

Sistemas *fuzzy* têm demonstrado seu sucesso em uma grande variedade de aplicações, tais como classificação, modelagem e controle. Na maior parte dos casos, o sucesso decorre da habilidade de sistemas *fuzzy* incorporar conhecimento especialista humano. Nos anos 90 muitos estudos foram feitos no sentido de incorporar capacidade de aprendizado em um sistema *fuzzy*. Dentro desta perspectiva surgiram os sistemas genético-fuzzy (do inglês *Genetic Fuzzy Systems* (GFS)) que basicamente podem ser definidos como um sistema *fuzzy* acrescido de um processo de aprendizado baseado em algoritmos genéticos (AG) (Cordón et al., 2004).

7.1.1 Algoritmos Genéticos

Os algoritmos genéticos foram propostos e analisados por Jonh Holland (1975). Em um AG, cada candidato à solução (um indivíduo) é representado por um cromossomo. Cada componente deste é chamada de gene. Os valores que os genes podem assumir são conhecidos como alelos. Os cromossomos irão constituir os genótipos a serem manipulados pelo AG.

No algoritmo genético básico (Medeiros, 2006), primeiramente, uma população de indivíduos é gerada, geralmente de forma aleatória. Um requisito para essa etapa é a representatividade adequada do espaço de busca por parte dos indivíduos criados. O passo seguinte é a avaliação do fenótipo de cada indivíduo da população. Uma função de *fitness* é usada para aferir a aptidão de cada elemento para a solução do problema que está sendo tratado. Baseado neste cálculo, um operador de seleção atua escolhendo de forma privilegiada os melhores indivíduos da população. Estes são então submetidos a operadores genéticos de recombinação e mutação para a composição da população que pertencerá à geração seguinte. Essa nova população é, como a original, submetida à avaliação. O processo se repete até que uma condição de parada especificada seja atendida.

Algumas possibilidades de condições de parada são: a ocorrência do número máximo de gerações estabelecido na inicialização do AG; a existência de um indivíduo que seguramente satisfaça a solução do problema; a repetição do melhor indivíduo da população por um número pré-estabelecido de vezes; a não alteração da média da adaptabilidade da população por um determinado número de gerações; a diversidade da população atingiu um limite inferior indicando convergência.

A aplicação de um algoritmo genético na solução de um problema específico requer a definição apropriada dos seguintes elementos (Bäck et al., 2000; Delgado, 2000; Medeiros, 2006; Iyoda, 2000):

- Representação

A codificação (genótipo) de cada indivíduo da população, que representa um candidato à solução do problema (fenótipo), é representada pela estrutura de dados que implementa o cromossomo. Alguns exemplos de estruturas utilizadas são: codificação binária (tradicionalmente a mais utilizada (Holland, 1992)), codificação real, permutações, máquinas de estado finito e árvores sintáticas.

- Geração da população inicial

A definição da população inicial, incluindo suas dimensões, depende do tipo de codificação adotada e, normalmente, os valores iniciais são obtidos de forma aleatória.

- Avaliação de desempenho

Após a definição da representação cromossômica, é necessário elaborar uma estratégia de avaliação dos indivíduos da população. Esta função de avaliação depende do problema sendo tratado. Uma propriedade que ela deve possuir é explicitar quais cromossomos representam

as melhores configurações para a solução do problema em questão, assim como apontar aqueles que geram elementos insatisfatórios. Convenciona-se que essa função, também chamada função de *fitness*, deve atribuir valores mais altos aos indivíduos melhores, mais aptos a resolver o problema de otimização, e valores menores às soluções pobres.

- Método de seleção

Uma vez que os indivíduos da população foram avaliados, o próximo passo é a utilização de um critério de seleção. A maioria dos métodos de seleção é projetada para escolher preferencialmente indivíduos com maiores notas de aptidão (valores de *fitness*), embora não exclusivamente, para manter a diversidade da população. Alguns exemplos de métodos de seleção são: roleta, *rank*, Boltzmann e torneio.

- Operadores de reprodução: *crossover* e mutação

A reprodução é a fase do algoritmo genético em que os indivíduos filhos são gerados com o objetivo de compor a nova população. Consiste na ação de operadores genéticos, os quais são aplicados sobre os indivíduos pais, gerando os filhos. São dois os operadores genéticos básicos utilizados durante a fase de reprodução nos algoritmos genéticos: Recombinação e Mutação.

O operador de recombinação (ou *crossover*) envolve a participação de dois indivíduos pais. A técnica da recombinação consiste na troca de material genético entre os pais, gerando dois candidatos a filhos. É escolhido aleatoriamente um conjunto de pontos que delimita a região de troca dos genes. As variações desse método referem-se à determinação do número de pontos e sua distribuição dentro do cromossomo, assim como no modo como os genes são trocados.

O operador genético de mutação envolve a participação de apenas um indivíduo. Esta técnica consiste, em analogia à Biologia Genética, na alteração de um ou mais genes de um indivíduo após o *crossover*. O novo indivíduo gerado para a próxima geração pode assim possuir alguma característica adicional que lhe forneça melhor adaptação que seu gerador. Os pontos que identificarão as posições dos genes que sofrerão as transformações são escolhidos aleatoriamente. A motivação para a existência do operador de mutação, além da coerência biológica, é a introdução de diversidade na população. Desta forma, a mutação assegura que a probabilidade de se chegar a qualquer ponto do espaço de busca nunca será nula. Além disso, contorna o problema dos ótimos locais através da leve alteração da direção da busca.

7.1.2 Sistemas Fuzzy

Sistemas *fuzzy* permitem o processamento de informação seguindo regras naturais de raciocínio, analisando condições e estipulando conseqüências (Shaw and Simões, 1999; Tsoukalas and Uhrig,

1996). É baseada na teoria dos conjuntos *fuzzy* (Zadeh, 1965).

Um conjunto *fuzzy* é definido como uma coleção de objetos cujo grau de pertinência ao conjunto varia entre zero e um. Formalmente, um conjunto fuzzy é caracterizado por uma função de pertinência (FP) A que mapeia os elementos de um domínio, espaço ou universo de discurso X no intervalo unitário $[0, 1]$, ou seja:

$$A : X \rightarrow [0, 1] \quad (7.1)$$

Dessa maneira, um conjunto *fuzzy* A em X pode ser representado como um conjunto de pares ordenados de um elemento genérico $x \in X$ e seu grau de pertinência: $A = \{A(x)/x | x \in X\}$ (Pedrycz and Gomide, 1998).

Em princípio qualquer função $A : X \rightarrow [0, 1]$ descreve uma função de pertinência associada a um conjunto *fuzzy* A (Pedrycz and Gomide, 1998). Alguns exemplos de FP comumente utilizadas são as triangulares, trapezoidais e gaussianas. As FP tratadas nesta dissertação são trapezoidais. Elas possuem os parâmetros (a, m, n, b) , com $a \leq m$; $n \leq b$ e $m \leq n$, sendo definidas por (7.2) e visualizadas na Figura 7.1.

$$A(x) = \begin{cases} 0, & \text{se } x \leq a \\ \frac{x-a}{m-a}, & \text{se } a < x \leq m \\ 1, & \text{se } m < x \leq n \\ \frac{b-x}{b-n}, & \text{se } n < x \leq b \\ 0, & \text{se } x > b \end{cases} \quad (7.2)$$

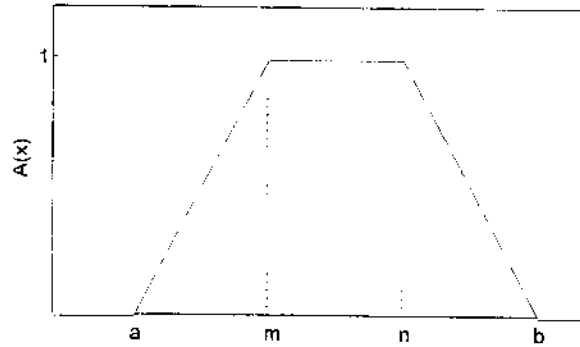


Figura 7.1: Função de pertinência trapezoidal.

Um conceito fundamental dentro da teoria de conjuntos *fuzzy* é o de variável lingüística. De uma maneira informal, esta pode ser definida como uma variável cujos valores são termos lingüísticos

(palavras ou sentenças), ao invés de números (Pedrycz and Gomide, 1998). Cada termo lingüístico é associado a uma função de pertinência. A definição satisfatória da quantidade e grau de sobreposição entre as funções de pertinência no universo de discurso é fundamental quando da aplicação de um sistema *fuzzy* (Shaw and Simões, 1999).

Variáveis lingüísticas podem ser relacionadas através de regras *fuzzy*. Regras *fuzzy* permitem um mecanismo formal de representar diretivas e estratégias e são freqüentemente apropriadas quando o conhecimento do domínio resulta de associações empíricas (Pedrycz and Gomide, 1998). Em geral, elas assumem a forma:

$$\text{Se } X \text{ é } A \text{ então } Y \text{ é } B,$$

onde A e B representam os termos lingüísticos e são definidos por conjuntos nebulosos nos universos X e Y , respectivamente (Delgado, 2000).

Sistemas *fuzzy* baseados em regras (SFBR) são construídos a partir de regras *fuzzy* e usam uma coleção de fatos para fazer inferências. O mecanismo de inferência utilizado é a regra de composição. Como exemplo de SFBR, têm-se os modelos Mamdani e Takagi-Sugeno.

A etapa de “fuzzyficação” em um SFBR corresponde, para entradas que são números reais, à determinação do grau de pertinência de cada entrada em relação a cada conjunto *fuzzy* presente nas premissas das regras.

O SFBR raciocina com inferência associativa paralela. Quando uma entrada é fornecida, várias regras podem ser disparadas paralelamente, com diferentes graus de ativação, cada uma delas contribuindo para o resultado ou saída correspondente.

A etapa de inferência consiste dos seguintes passos: “fuzzyficação” e agregação quando se avalia a premissa de cada regra através dos operadores t-norma, a etapa de composição e a de agregação de diferentes conclusões das regras ativas sob o operador s-norma (Shaw and Simões, 1999; Tsoukalas and Uhrig, 1996). Alguns exemplos de t-normas são o produto algébrico e o operador de mínimo. Para as s-normas têm-se como exemplos o operador de máximo e a soma drástica (Pedrycz and Gomide, 1998).

Em alguns modelos *fuzzy*, após a inferência, necessita-se de uma tradução do valor lingüístico para um valor numérico de saída. Este passo é conhecido como “defuzzificação”. Como pode acontecer de saídas distintas serem acionadas num mesmo momento, com diferentes graus de ativação, deve-se encontrar um valor representativo do conjunto *fuzzy* de saída resultante da agregação das regras ativas.

Modelo Fuzzy Takagi-Sugeno

No modelo *fuzzy* TS, a base de regras é da forma:

$$\text{se } (u_1 \text{ é } A_{1,1}) \text{ e } \dots \text{ e } (u_n \text{ é } A_{1,n}) \text{ então } y = f_1(u_1, \dots, u_n)$$

$$\vdots \quad (7.3)$$

$$\text{se } (u_1 \text{ é } A_{r,1}) \text{ e } \dots \text{ e } (u_n \text{ é } A_{r,n}) \text{ então } y = f_r(u_1, \dots, u_n)$$

sendo $u_1, \dots, u_n$ as entradas do sistema e $A_{1,1}, \dots, A_{r,n}$ os termos lingüísticos dessas variáveis, definidos como funções de pertinência que cobrem todo o universo de discurso.

Os conseqüentes das regras são compostos por uma função das variáveis de entrada. Embora em (7.3) apareçam nas premissas das regras todas as variáveis de entrada, esta não é uma exigência da arquitetura *fuzzy* TS. Pode ser usado um número menor de variáveis nas premissas, por exemplo, com o objetivo de simplificar a base de regras. Os modelos mais comuns são modelo TS de ordem zero (conseqüentes constantes) e modelo TS de 1ª ordem (conseqüentes lineares).

Como as saídas das regras não estão definidas através de termos lingüísticos, a etapa de “*defuzzificação*” para obter a saída y_s , é dada pela expressão (7.4), onde y_i é a saída intermediária de cada uma das m regras e w_i o peso da i -ésima regra.

$$y_s = \frac{\sum_{i=1}^r w_i y_i}{\sum_{i=1}^r w_i} \quad (7.4)$$

Os pesos w_i de cada regra (seus níveis de ativação) são calculados através do operador de t -norma utilizado. Considerando como exemplo o uso da t -norma do valor mínimo, cada w_i é calculado segundo a equação 7.5:

$$w_i = \min \{A_{i,1}(u_1), \dots, A_{i,n}(u_n)\} \quad (7.5)$$

No caso da t -norma produto, o nível de ativação w_i é calculado como:

$$w_i = \prod_{j=1}^n A_{i,j}(u_j) \quad (7.6)$$

7.1.3 Sintonia de Modelos *Fuzzy*

Dentre os sistemas genético-*fuzzy*, os mais usuais são os sistemas genético-*fuzzy* baseados em regras (SGFBR). Nesse caso, um AG é empregado para aprender ou sintonizar diversos componentes de um SFBR. O processo de se utilizar um AG para automatizar a geração da Base de Conhecimento (BC), composta por regras e funções de pertinência, pode ser considerado um problema de otimização (Cordón et al., 2004).

Há distinções entre os problemas de sintonia e aprendizado. O primeiro está mais preocupado com a otimização paramétrica de um SFBR já existente, enquanto o segundo constitui um método

para a geração de bases de regras (BR). O processo de sintonia assume uma BR predefinida e tem o objetivo de encontrar um conjunto ótimo de parâmetros para as funções de pertinência e/ou escalas. Já o processo de aprendizado realiza uma busca mais elaborada no espaço de possíveis BR ou todas as BC e não dependem de um conjunto de regras predefinido (Cordón et al., 2004).

A sintonia de FP's é uma tarefa importante no projeto de SFBR. As FP's são avaliadas por um AG de acordo com sua função de *fitness*. O cromossomo codifica as FP's parametrizadas associadas aos termos lingüísticos de cada partição *fuzzy* considerada pelo SFBR. O número de parâmetros por FP geralmente varia de 1 a 4, sendo cada parâmetro codificado com números binários ou reais.

Ao sintonizar as FP's em um modelo lingüístico, todas as partições *fuzzy* são codificadas em um cromossomo e ele é globalmente adaptado para manter a semântica global na BR. Geralmente é considerado um número predefinido de termos lingüísticos por variável, embora seja possível também evoluir o número de termos lingüísticos por variável.

Existem diversos métodos que são utilizados na determinação dos conseqüentes das regras de modelos TS (Delgado, 2000). As bases de regras que serão objetos de otimização deste trabalho, conforme poderá ser visto na próxima seção, possuem constantes em seus conseqüentes. A saída de cada regra será um número real rotulado por um termo. Serão otimizados os valores das constantes através de um AG. Assim, a determinação dos valores a serem utilizados nos conseqüentes das regras, no contexto apresentado, pode ser visto com um problema de sintonia.

7.2 Agente SouthamptonTAC

O agente SouthamptonTAC tem como principal característica um comportamento adaptativo. Em relação ao leilão de hotel, ele varia sua estratégia de ofertas de acordo com as condições de mercado que são caracterizadas pelo nível de competitividade do ambiente. No TAC, este agente observou os seguintes tipos de ambiente:

- Ambiente Competitivo

Nesse tipo de ambiente, há grande competição nos leilões de hotel o que acarreta aumento de seus preços. Isto é devido a: a) altos lances realizados pelos agentes; b) alguns agentes insistem em fazer lances para hotéis até quando o valor do lance mínimo para se ter um lance válido neste leilão se torna alto (16º maior preço); c) alguns agentes aumentam suas ofertas de forma não gradual.

- Ambiente Não-Competitivo

Nesse caso, há pouca competição por hotéis e o agente pode obter os quartos desejados a preços baixos.

- Ambiente Semi-Competitivo
Existe competição, mas ela não é muito severa.

A importância em se caracterizar a competitividade do ambiente reside em, uma vez esta informação sendo conhecida, pode-se ter uma idéia na magnitude dos lances a serem dados no leilão de hotel. Por exemplo, em um ambiente competitivo, regra geral, os lances a serem realizados devem ser maiores que os feitos em um ambiente não-competitivo.

As próximas seções explicarão detalhadamente a estratégia do agente SouthamptonTAC para a determinação do nível de competitividade do ambiente ou simplesmente ambiente, bem como a previsão dos lances a serem feitos para os leilões de hotéis.

7.2.1 Reconhecimento do Ambiente TAC-Classic

No decorrer do jogo, o agente SouthamptonTAC monitora as cotações de preços correntes de todos os leilões de hotel e observa qual deles é o maior. É com base neste valor que será determinado o tipo de ambiente do TAC-Classic.

Seja P_{TT_i} com $i \in \{1, \dots, 4\}$ o preço corrente do hotel *Tampa Towers* no dia i e P_{SS_i} com $i \in \{1, \dots, 4\}$ o preço corrente do hotel *Shoreline Shanties* no dia i . Então, o maior valor de cotação corrente de todos leilões de hotéis será definido por V_{max} e será calculado conforme (7.7).

$$V_{max} = \max(P_{TT_1}, P_{TT_2}, P_{TT_3}, P_{TT_4}, P_{SS_1}, P_{SS_2}, P_{SS_3}, P_{SS_4}) \quad (7.7)$$

O nível de competitividade do ambiente TAC-Classic é representado por uma variável linguística *fuzzy* A_x que possui as seguintes funções de pertinência: A_c , A_s , A_n indicando, respectivamente, ambiente competitivo, semi-competitivo e não-competitivo (ver Figura 7.2).

O tipo de ambiente pode ser determinado verificando-se o valor do grau de pertinência V_{max} , isto é:

$$A_x(V_{max}) = \max\{A_n(V_{max}), A_s(V_{max}), A_c(V_{max})\} \quad (7.8)$$

7.2.2 Previsão de Lances para os Leilões de Hotel: Um Sistema Fuzzy

O agente SouthamptonTAC utiliza um sistema de regras *fuzzy* do tipo Takagi-Sugeno de ordem 0 para realizar a previsão dos lances de hotel. O nível de ativação das regras é calculado através do operador de t -norma mínimo. A saída do sistema é o incremento de preço que deve ser adicionado ao valor da última cotação de um leilão de hotel. Este sistema só é utilizado para fazer a previsão de preços do leilão de hotel do 2º minuto em diante.

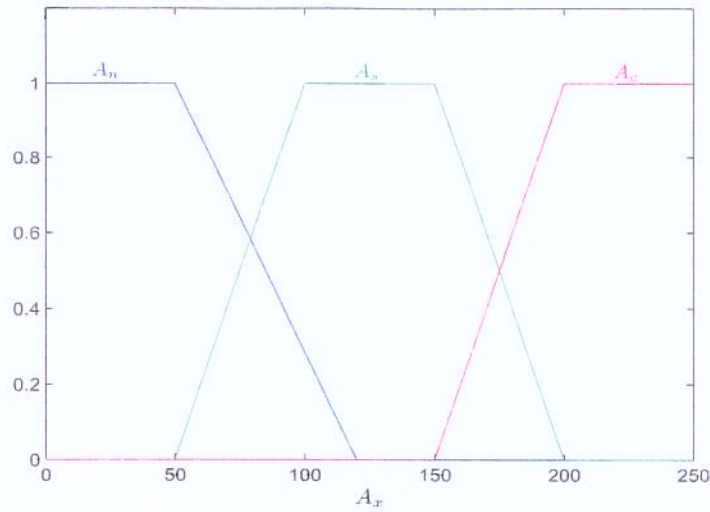


Figura 7.2: Funções de pertinência da variável linguística A_x

Adota-se como notação h_i correspondendo ao leilão de hotel $h = \{TT, SS\}$ no dia $i = \{1, \dots, 4\}$. Para $h = TT$, tem-se $\bar{h} = SS$ e vice-versa.

Segundo o agente SouthamptonTAC, ao realizar a previsão de um lance para o leilão h_i os seguintes fatores devem ser considerados (as variáveis linguísticas estão indicadas entre parênteses):

1. O valor do preço corrente do leilão h_i (P);
2. A variação de preço corrente do leilão h_i , ou seja, a mudança de valor da cotação passada para a atual (VP);
3. O preço corrente do leilão de hotel $\bar{h}_i$ ($\bar{P}$);
4. A variação de preço corrente do hotel $\bar{h}_i$, ou seja, a mudança de valor da cotação passada para a atual ($\bar{VP}$).

Como exemplo, suponha que o agente esteja interessado em obter quartos em TT_1 e o jogo esteja no 2º minuto. Para fazer essa previsão, o agente considerará:

1. O preço do hotel TT_1 no 2º minuto (P);
2. Em quanto o preço do hotel TT_1 variou do 1º para o 2º minuto de jogo (VP);
3. O preço do hotel SS_1 no 2º minuto ($\bar{P}$);

4. Em quanto o preço do hotel SS_1 variou do 1º para o 2º minuto de jogo ($\overline{VP}$).

As variáveis lingüísticas P e $\overline{P}$ referem-se, respectivamente, ao preço de cotação corrente dos leilões h_i e $\overline{h}_i$ e têm como termos lingüísticos: *alto*, *médio* e *baixo*. Já as variáveis VP e $\overline{VP}$ referem-se, respectivamente, à variação do preço de cotação corrente dos leilões h_i e $\overline{h}_i$ e seus termos lingüísticos são: *rápida*, *média* e *lenta*. As Figuras 7.3 e 7.4 ilustram as funções de pertinências das variáveis lingüísticas na ordem em que elas foram citadas. Nestas figuras pode ser observado que o conjunto das funções de pertinências para as variáveis P e $\overline{P}$ é o mesmo, o mesmo acontecendo para as variáveis VP e $\overline{VP}$.

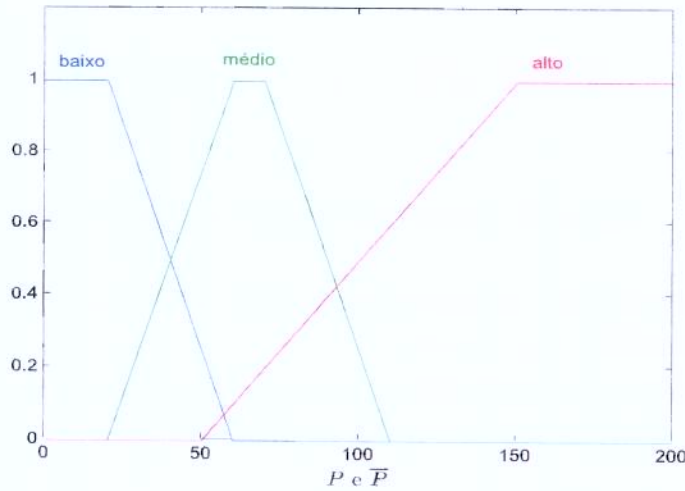


Figura 7.3: Funções de pertinência das variáveis lingüísticas P e $\overline{P}$

As saídas das regras correspondem ao incremento a ser adicionado na última cotação do leilão de hotel que está sendo previsto. Elas são funções de ordem 0 (constantes) que serão referenciadas pelos termos: *pequeno*, *médio*, *grande* e *muitoGrande*; variando de acordo com a competitividade do ambiente (ver Tabela 7.1).

	<i>muitoGrande</i>	<i>grande</i>	<i>médio</i>	<i>pequeno</i>
Ambiente Não-Competitivo	120	80	40	10
Ambiente Semi-Competitivo	150	100	60	20
Ambiente Competitivo	180	150	80	30

Tabela 7.1: Conseqüentes das regras no modelo fuzzy utilizado pelo agente SouthamptonTAC.

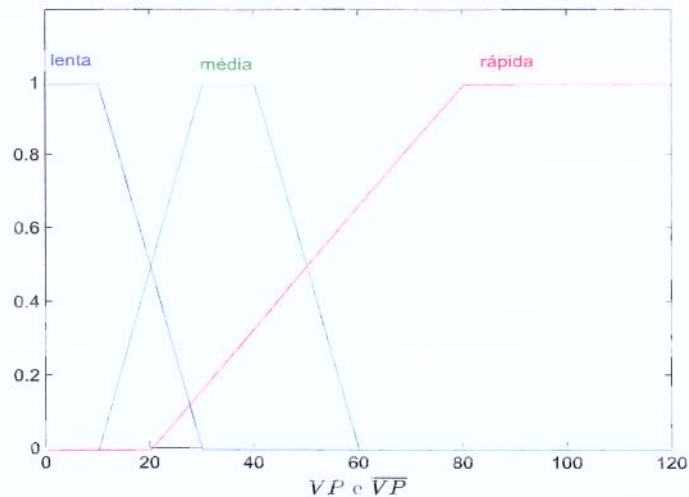


Figura 7.4: Funções de pertinência das variáveis linguísticas VP e $\overline{VP}$

Na previsão dos preços do leilão de hotel, três casos são considerados. Cada caso corresponde ao uso de uma base de regras que está indicada entre parênteses:

1. Quando para um dado dia, o leilão no hotel *Tampa Towers* e *Shoreline Shanties* estão em andamento. Este caso será referenciado como Ambos Abertos (AA);
2. Quando para um dado dia, o leilão de um dos hotéis finalizou no minuto imediatamente anterior. Por exemplo, realizar previsão para o leilão TT_3 quando o leilão SS_3 acabou de terminar. Este caso será referenciado como Acabou de Terminar (AT);
3. Quando para um dado dia, o leilão de um dos hotéis finalizou a mais de 1 minuto. Por exemplo, realizar previsão para o leilão TT_3 quando o leilão SS_3 terminou a 2 minutos atrás. Este caso será referenciado como Terminou há Tempos (TTs).

As bases de regras para cada um dos casos citados podem ser vistas, respectivamente, nas Tabelas 7.2, 7.3 e 7.4.

7.3 Um Sistema Genético-Fuzzy para o Leilão de Hotel

A partir desta sessão será explicado como foi realizada a otimização de alguns parâmetros do sistema *fuzzy* proposto para o agente SouthamptonTAC. Com o objetivo de melhorar este sistema,

Se P é alto e VP é rápida então $y = grande$
Se P é alto e $\bar{P}$ é alto e VP é $\neg$ rápida então $y = grande$
Se P é alto e $\bar{P}$ é $\neg$ alto e VP é $\neg$ rápida então $y = médio$
Se P é baixo e $\bar{P}$ é alto então $y = médio$
Se P é baixo e $\bar{P}$ é $\neg$ alto então $y = pequeno$
Se P é médio e $\bar{P}$ é alto então $y = médio$
Se P é médio e $\bar{P}$ é $\neg$ alto e VP é $\neg$ lenta então $y = médio$
Se P é médio e $\bar{P}$ é $\neg$ alto e VP é lenta então $y = pequeno$

Tabela 7.2: Base de regra para o caso AA.

Se P é alto e VP é $\neg$ lenta e $\bar{VP}$ é rápida então $y = muitoGrande$
Se P é alto e VP é $\neg$ lenta e $\bar{VP}$ é $\neg$ rápida então $y = grande$
Se P é alto e VP é lenta e $\bar{VP}$ é rápida então $y = grande$
Se P é alto e VP é lenta e $\bar{VP}$ é $\neg$ rápida então $y = médio$
Se P é médio e VP é rápida então $y = grande$
Se P é médio e VP é média e $\bar{VP}$ é rápida então $y = grande$
Se P é médio e VP é média e $\bar{VP}$ é $\neg$ rápida então $y = médio$
Se P é médio e VP é lenta e $\bar{VP}$ é rápida então $y = médio$
Se P é médio e VP é lenta e $\bar{VP}$ é $\neg$ rápida então $y = pequeno$
Se P é baixo e VP é lenta e $\bar{VP}$ é rápida então $y = médio$
Se P é baixo e VP é $\neg$ lenta então $y = médio$
Se P é baixo e VP é lenta e $\bar{VP}$ é $\neg$ rápida então $y = pequeno$

Tabela 7.3: Base de regra para o caso AT.

utilizou-se um algoritmo genético (o Algoritmo 7.1 ilustra em linhas gerais o AG utilizado) para otimizar os valores das funções de pertinência de suas variáveis lingüísticas P e $\bar{P}$ e VP e $\bar{VP}$ e os valores utilizados nos consequentes de suas regras. O objetivo dessa otimização é fazer com que o sistema já proposto seja capaz de fazer previsões para o minuto seguinte acima do valor de cotação, porém por um valor não muito grande.

Ao se realizar as previsões dos lances de hotel, é importante que o valor previsto não seja inferior ao 16º maior lance nem tenha um valor muito grande. No primeiro caso, se o leilão em questão finalizar, não será possível adquirir nenhum quarto de hotel. Já no segundo caso, se o leilão não terminar imediatamente após esse lance, agentes que também tenham interesse neste leilão, ao ver que suas ofertas de baixo valor não estiveram entre as 16 maiores ofertas, podem passar a fazer lances cada vez mais altos. Isso resultará no aumento do nível de competitividade do ambiente, fazendo com que o leilão acabe tendo um custo muito elevado.

Na otimização do sistema *fuzzy* proposto para o agente SouthamptonTAC, manteve-se a mesma

Se P é <i>alto</i> e VP é $\neg$ <i>lenta</i> então $y = \text{grande}$
Se P é <i>alto</i> e VP é <i>lenta</i> então $y = \text{médio}$
Se P é <i>médio</i> e VP é <i>rápida</i> então $y = \text{grande}$
Se P é <i>médio</i> e VP é <i>média</i> então $y = \text{médio}$
Se P é $\neg$ <i>alto</i> e VP é <i>lenta</i> então $y = \text{pequeno}$
Se P é <i>baixo</i> e VP é $\neg$ <i>lenta</i> então $y = \text{médio}$

Tabela 7.4: Base de regra para o caso TTs.

quantidade de termos lingüísticos para as variáveis P e $\bar{P}$ e VP e $\bar{VP}$. As funções de pertinências das variáveis P e $\bar{P}$ continuam sendo iguais, o mesmo acontecendo para as variáveis VP e $\bar{VP}$. O formato trapezoidal também permanece. Não há mudanças nas três bases de regras: AA, AT e TaT.

No sistema *fuzzy* utilizado pelo agente SouthamptonTAC, as variáveis lingüísticas têm as mesmas funções de pertinência em todas as bases de regras, independentemente da competitividade do meio. No sistema otimizado, os valores das funções de pertinência das variáveis P e $\bar{P}$ e VP e $\bar{VP}$ variarão para cada combinação base de regra/competitividade do meio. Em relação aos conseqüentes das regras, os valores atribuídos as constantes *pequeno*, *médio*, *grande* e *muitoGrande* variarão também para cada combinação base de regra/competitividade do meio. Antes, os valores variavam apenas de acordo com a competitividade do ambiente (ver Tabela 7.1).

Algoritmo 7.1 Pseudocódigo para o Algoritmo Genético

```

g = 0;
cria população P(g);
fazer
  avalia fitness de P(g);
  seleciona indivíduos para reprodução;
  operador de crossover aritmético, gerando P'(g);
  operador de mutação Gaussiana, gerando P(g+1);
  g = g + 1;
enquanto (g < Máximo de Gerações)
  mostrar resultados;

```

7.3.1 Dados de Treinamento

Conforme já mencionado, o algoritmo genético otimiza as funções de pertinência para as variáveis P e $\bar{P}$ e VP e $\bar{VP}$ e os valores dos conseqüentes das regras *fuzzy* do agente SouthamptonTAC de modo que eles variem seus valores conforme a base de regras utilizada (AA, AT, TaT) e o nível de competitividade do meio (N, S, C). Com isso, faz-se necessário 9 tipos de arquivos com dados de treinamento. Um tipo para cada combinação base de regra/nível de competitividade.

Os dados de treinamento utilizados nesta tarefa foram obtidos de *logs* de jogos da competição oficial TAC-Classic 2004¹. Nestes *logs* é possível identificar de minuto em minuto, dentre outras informações, qual leilão de hotel finalizou e o seu preço final (no caso, o 16º maior lance). Além disso, pode-se verificar para os leilões de hotel não finalizados qual foi o 16º maior lance, indicando deste modo qual seria o valor final se hipoteticamente tal leilão terminasse.

A partir da leitura destas informações, para cada jogo analisado, pode-se simular como a previsão dos lances a ser utilizada nos leilões de hotel h_i ($h = \{TT, SS\}$ no dia $i = \{1, \dots, 4\}$) deveria ser feita. Descreve-se na seqüência o procedimento para a obtenção dos dados de treinamento.

Para realizar a previsão para o minuto t , com $t = 2, \dots, 8$, no leilão h_i :

1. Obtém-se o nível de competitividade do ambiente $x \in \{n, s, c\}$ no instante $t - 1$;
2. Verifica-se se o leilão $\bar{h}_i$:
 - (a) Está em andamento.
Nesse caso, em um arquivo chamado AA_x serão escritas as informações relativas a essa base de regras que são: valor da cotação corrente do leilão h (P), valor da variação corrente do leilão h (VP) e o valor da cotação corrente do leilão $\bar{h}$ ($\bar{P}$).
 - (b) Terminou no instante $t - 1$.
Aqui, em um arquivo chamado AT_x será escrito: o valor da cotação corrente do leilão h (P), o valor da variação corrente do leilão h (VP) e o valor da variação corrente do leilão $\bar{h}$ ($\bar{VP}$).
 - (c) Terminou antes de $t - 1$.
Em um arquivo chamado TaT_x será escrito: o valor da cotação corrente do leilão h (P) e o valor da variação corrente do leilão h ($\bar{P}$).
3. Observa-se em quanto o valor v de cotação do leilão h_i aumentou do instante $t - 1$ para o instante t . O sistema *fuzzy* deve ser capaz de fornecer como saída um valor no mínimo igual a v (condição para que, caso o leilão h_i termine seja possível a compra de quartos). Como nesse contexto o valor desejado como saída do sistema é o valor v , este será adicionado ao arquivo já preenchido com as informações do passo 2.

Esse procedimento foi repetido com diversos *logs* dos jogos da competição oficial TAC-Classic 2004, de modo a obter pares entrada-saída para serem utilizados na otimização via algoritmo genético das funções de pertinência das variáveis linguísticas e dos consequentes das regras para cada combinação base de regra/nível de competitividade do ambiente.

¹Obtido em <http://www.sics.se/tac/server/>

7.3.2 Representação Cromossômica

As informações relativas às funções de pertinência trapezoidais P e $\bar{P}$ e VP e $\overline{VP}$ e às constantes que representam os consequentes das regras *fuzzy* são codificadas em um mesmo cromossomo. Logo, este consta de duas partes: uma relativa às funções de pertinência e a outra aos consequentes das regras.

O esquema de representação adotado para a codificação das funções de pertinência se baseia no conceito de posições relativas (Delgado, 2000). Uma vez que o cromossomo é definido, um processo de decodificação é necessário para gerar o fenótipo da função de pertinência (Delgado et al., 2001). Para uma variável lingüística com três funções de pertinência trapezoidais (similar às variáveis P e $\bar{P}$ e VP e $\overline{VP}$), segundo essa representação, para o genótipo da Figura 7.5 tem-se o fenótipo da Figura 7.6.

L_1	$C_{1,1}$	$C_{2,1}$	R_1	L_2	$C_{1,2}$	$C_{2,2}$	$R_{1,2}$	L_3	$C_{1,3}$	$C_{2,3}$	R_3
-------	-----------	-----------	-------	-------	-----------	-----------	-----------	-------	-----------	-----------	-------

Figura 7.5: Genótipo de três funções de pertinência trapezoidais cuja representação se baseia no conceito de posições relativas.

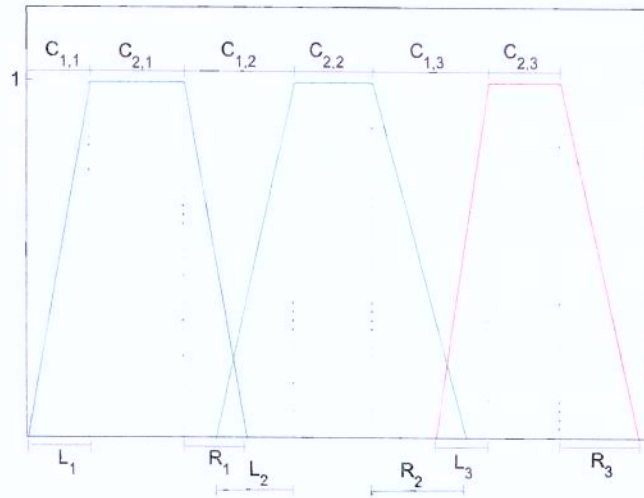


Figura 7.6: Fenótipo de três funções de pertinência trapezoidais cuja representação se baseia no conceito de posições relativas.

As funções de pertinência (FP) são representadas por uma seqüência de quatro alelos

$$\{L_k \ C_{1,k} \ C_{2,k} \ R_k\}$$

onde k identifica a ordem da função no universo associado.

Para a obtenção do fenótipo das funções do tipo trapezoidal, estes alelos são convertidos em seus valores absolutos $\{b_{1,k} \ m_{1,k} \ m_{2,k} \ b_{2,k}\}$ que definem os parâmetros $\{a \ m \ n \ b\}$ destas funções (Figura 7.1). Portanto, para a k -ésima função de pertinência trapezoidal, tem-se:

$$m_{1,k} = m_{2,k-1} + C_{1,k} \quad (7.9)$$

$$m_{2,k} = m_{1,k} + C_{2,k} \quad (7.10)$$

$$b_{1,k} = m_{1,k} - L_k \quad (7.11)$$

$$b_{2,k} = m_{2,k} + R_k \quad (7.12)$$

sendo o valor de $m_{1,1}$ o limite esquerdo do universo.

Na otimização das funções de pertinência, para simplificar o tamanho do cromossomo, serão retirados os termos L_1 , $C_{1,1}$, $C_{2,3}$ e R_3 . Na decodificação do cromossomo, aos dois primeiros termos citados serão atribuídos valor zero e aos dois últimos o limite superior do universo de discurso.

Por fim, a representação cromossômica adotada nesta dissertação será um vetor de números reais de 20 posições conforme mostrado na Figura 7.7. Nesta figura os 16 primeiros cromossomos codificam, respectivamente, as funções de pertinência das variáveis P e $\bar{P}$ (os 8 primeiros) e VP e $\bar{VP}$ (os 8 seguintes). Já p , m , g e mG referem-se as constantes *pequeno*, *médio*, *grande* e *muitoGrande* utilizadas nos conseqüentes das regras.

$$\begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline C_{2,1} & R_1 & L_2 & C_{1,2} & C_{2,2} & R_{1,2} & L_3 & C_{1,3} \\ \hline \end{array} \parallel \dots$$

$$\begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline C_{2,1} & R_1 & L_2 & C_{1,2} & C_{2,2} & R_{1,2} & L_3 & C_{1,3} & p & m & g & mG \\ \hline \end{array}$$

Figura 7.7: Representação cromossômica das funções de pertinência das variáveis lingüísticas P e $\bar{P}$ e VP e $\bar{VP}$ e dos conseqüentes das regras.

7.3.3 Inicialização da População

A inicialização da população é feita gerando-se números aleatórios reais não negativos para cada um dos campos do cromossomo. Os genes referentes às funções de pertinência de cada uma das variáveis lingüísticas e os genes representativos dos conseqüentes das regras são gerados entre 0 e um limite pré-definido pelo usuário.

Para que o cromossomo não represente um conjunto de funções de pertinência que não cobrem todo o universo de discurso, verifica-se se $C_{1,k} < (R_{k-1} + L_k)$. Se o cromossomo não for válido, as seguintes atribuições de valores são realizadas: $R_{k-1} = C_{1,k}$ e $L_k = C_{1,k}$.

Além disso, deve-se garantir que a decodificação não irá gerar funções de pertinência que englobe valores negativos. Como as variáveis lingüísticas tratadas se referem a preços e variações de preços crescentes, não se faz necessário englobar valores negativos no universo de discurso. Logo, se o cálculo de $b_{1,k}$ (7.11) resultar em um valor negativo, altera-se o valor de L_k , fazendo $L_k = C_{1,k}$.

Em relação aos quatro genes que representam os conseqüentes das regras, eles são ordenados de forma crescente. Com isso, a semântica dos termos é mantida, já que a constante *pequeno* será representada por um valor inferior ao valor utilizado em *médio* e assim sucessivamente.

Por fim, na inicialização da população, um indivíduo é codificado com as variáveis lingüísticas e conseqüentes utilizados pelo agente SouthamponTAC.

7.3.4 Operador de Seleção

Adotou-se o torneio como operador de seleção. Na configuração estabelecida, dois indivíduos são escolhidos aleatoriamente para participar do torneio. Deterministicamente é selecionado o indivíduo com o maior valor de *fitness*. O método é implementado com reposição, ou seja, todos os indivíduos participantes do torneio são recolocados na população, inclusive o selecionado. Foi implementado também o elitismo, o qual consiste em selecionar o indivíduo com o maior *fitness* de uma geração e incluí-lo na geração seguinte.

7.3.5 Função de *Fitness*

Na avaliação do *fitness* de um indivíduo, para um conjunto de pontos de treinamento, verifica-se o número de previsões que ficaram iguais ou superiores ao valor de saída desejado. Esse número será referenciado como p_v (previsões válidas). Observa-se também o Erro Quadrático Médio (EQM) (6.10) entre o valor de previsão desejado e o valor estimado (o valor fornecido pelo sistema *fuzzy* cujas funções de pertinência e conseqüentes foram extraídos de um indivíduo da população). O primeiro parâmetro foi escolhido porque é importante que uma solução faça previsões acima do valor futuro de cotação. Esta condição garante a compra de quartos de hotel caso o leilão termine imediatamente. Já o segundo parâmetro, sua escolha deu-se pelo fato de ser desejado que as previsões realizadas não tenham um valor muito grande. Agindo desta forma, evita-se o aumento do nível de competitividade do ambiente.

Com o objetivo de encontrar um indivíduo que permitisse uma configuração cujas previsões fossem superiores ao valor desejado (valor de cotação), porém com o menor EQM possível, empírica-

mente chegou-se à seguinte função de *fitness*:

$$fitness = (EQM \frac{nDados - p_v}{nDados} + 0.01EQM + 0.00001)^{-1} \quad (7.13)$$

onde *nDados* indica o número de pares de dados utilizados no treinamento.

Em particular, ao se utilizar a base de regras AA em um ambiente competitivo, utilizou-se a seguinte função de *fitness*:

$$fitness = (EQM \frac{nDados - p_v}{nDados} + 0.01EQM + 0.00001)^{-1} + 0.0001p_v \quad (7.14)$$

E para a base de regras TaT em um ambiente semi-competitivo, utilizou-se:

$$fitness = (10EQM \frac{nDados - p_v}{nDados} + 0.01EQM + 0.00001)^{-1} \quad (7.15)$$

As duas últimas funções de *fitness* citadas foram também obtidas empiricamente.

7.3.6 Operadores de Reprodução

Crossover

O *crossover* utilizado é uma variação do *crossover* aritmético.

O operador de *crossover* aritmético tradicional atua sobre os genes x_i e y_i de dois indivíduos pais x e y resultando em dois filhos x' e y' cujos genes são:

$$\begin{aligned} x'_i &= \alpha x_i + (1 - \alpha)y_i \\ y'_i &= (1 - \alpha)x_i + \alpha y_i \end{aligned}$$

sendo α um número aleatório no intervalo $[0, 1]$ e $i = \{1, \dots, L\}$ o índice dos genes do cromossomo de comprimento L .

A modificação implementada aqui consiste em ampliar o intervalo de α para $[-0.2, 1.2]$. O efeito desta alteração é permitir ao operador uma exploração mais ampla do espaço de busca, dado que em sua versão original o valor de determinado gene de um indivíduo filho é limitado pelos valores dos respectivos genes dos indivíduos pais.

Após o *crossover*, caso algum gene assuma um valor negativo, este automaticamente assumirá o valor de seu módulo. Além disso, são feitos ajustes para se validar o novo indivíduo gerado. Estes ajustes são os mesmos utilizados na inicialização da população (descritos na seção 7.3.3).

Mutação

Na mutação, cada gene x_i do cromossomo x tem seu valor alterado para x'_i :

$$x'_i = x_i + M \quad (7.16)$$

sendo $i = \{1, \dots, L\}$ os genes de um cromossomo de tamanho L e M uma realização de uma variável aleatória. As diferentes versões de mutação são dadas pelas diferentes distribuições da variável aleatória M . O operador de mutação implementado nesse trabalho é baseado em uma distribuição Gaussiana.

A função densidade de probabilidade para uma variável aleatória com distribuição Gaussiana é:

$$g(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (7.17)$$

sendo μ o valor médio e σ^2 a variância. Neste trabalho, adotou-se $\mu = 0$ e $\sigma^2 = 100$. Em relação ao primeiro parâmetro, é convenção fazer $\mu = 0$ durante a aplicação do operador de mutação Gaussiana. Já o segundo parâmetro foi encontrado empiricamente.

As mesmas verificações de validade dos indivíduos filhos descritas para o operador de *crossover* devem ser repetidas para o de mutação.

7.3.7 Resultados

Com base na configuração apresentada nas seções anteriores, utilizou-se um algoritmo genético para a otimização das funções de pertinência e dos consequentes das regras do sistema *fuzzy* utilizado pelo agente SouthamptonTAC. Este sistema será referenciado como *SF*. Já o sistema otimizado será chamado de *SFO*.

O AG foi utilizado na otimização dos parâmetros já citados para cada combinação de base de regras e nível de competitividade b_x , sendo $b \in \{AA, AT, TaT\}$ uma base de regras e $x \in \{n, s, c\}$ o nível de competitividade do ambiente. Em todas estas situações, foram utilizados 300 pares de treinamento.

Os parâmetros utilizados no AG para cada uma das situações expostas podem ser vistos na Tabela 7.5.

Na Tabela 7.5 o parâmetro 1 refere-se ao número de indivíduos da população; 2 ao número de gerações; 3 à taxa de mutação; 4 à taxa de *crossover*; 5, 6 e 7, respectivamente, aos limites superiores do universo de discurso das variáveis lingüísticas P e $\bar{P}$, VP e $\overline{VP}$ e dos consequentes das regras; e 8 ao tempo médio em minutos de duração de cada treinamento. Os parâmetros 5, 6 e 7 são utilizados

Parâmetro	AA _n	AA _s	AA _c	AT _n	AT _s	AT _c	TaT _n	TaT _s	TaT _c
1	40	40	40	40	40	40	40	40	40
2	20	20	15	15	20	20	20	20	20
3	0,2	0,15	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2
4	0,8	0,85	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,6	0,6
5	46,5	30	30	46,25	46,25	46,25	46,5	52	48
6	40	40	35	40	40	40	40	45	45
7	50	80	90	60	120	140	50	110	125
8	12,5	12,2	9,1	9,3	12,1	12,4	12,2	12,3	12,4

Tabela 7.5: Parâmetros utilizados no algoritmo genético.

na geração da população inicial.

Na Tabela 7.6 é apresentada uma comparação dos resultados obtidos com o uso de um conjunto de 300 pares de validação (diferentes dos utilizados na etapa de treinamento) com o sistema *SF* e *SFO*. A comparação é realizada em termos de Previsões Válidas e do Erro Quadrático Médio. Uma previsão é considerada válida se ela é igual ou superior ao valor de saída dos pares de validação.

	Previsões Válidas		Erro Quadrático Médio	
	<i>SF</i>	<i>SFO</i>	<i>SF</i>	<i>SFO</i>
AA _n	191	226	632,8351	625,0701
AA _s	283	290	2063,7218	1617,5511
AA _c	289	289	6888,1808	3906,7816
AT _n	227	241	891,8471	580,0175
AT _s	266	268	2343,256	1288,4393
AT _c	282	282	7355,1646	4855,2021
TaT _n	256	264	498,217	341,6691
TaT _s	273	287	2416,569	2413,6646
TaT _c	288	297	7979,6033	6442,4314

Tabela 7.6: Resultados obtidos com os sistemas *SF* e *SFO* para um mesmo conjunto de dados.

É possível constatar através da tabela 7.6 que o sistema *SFO* em todas as situações apresentou um número igual ou superior de previsões válidas quando comparado ao sistema *SF* e um erro quadrático médio inferior. Desse modo, o sistema *SFO* traz a vantagem de garantir lances válidos, ou seja, lances que garantem a compra de quartos caso o leilão de hotel termine. Entretanto, caso o leilão de hotel não termine, devido a um EQM inferior, quando comparado ao sistema *SF*, o sistema *SFO* irá contribuir menos para o aumento da competitividade do meio.

As funções de pertinências e os consequentes das regras obtidos em cada situação são mostrados

no apêndice A.

7.4 Lances para o Leilão de Hotel

O módulo Alocador indica a quantidade de quartos de hotel a ser obtidos em cada um dos leilões correspondentes. Para obter esta informação, ele necessita saber a previsão dos lances de hotel. O módulo Preditor Leilão de Hotel implementa as técnicas de previsão apresentadas nas seções 7.4.1 e 7.4.2. Já possíveis ajustes a serem feitos nos lances a serem feitos nos leilões de hotel são apresentados nas seções 7.4.3 e 7.4.4.

7.4.1 Previsão para o Primeiro Minuto de Jogo

A previsão para o leilão de hotel no primeiro minuto do jogo é feita com base na média aritmética dos lances realizados no primeiro minuto dos últimos 6 jogos. No início, quando nenhum jogo foi realizado, determina-se valores padrões para os últimos 6 jogos que são atualizados a medida que os jogos vão acontecendo. Escolheu-se a quantidade de 6 jogos, pois acredita-se que com esse número é possível captar a tendência dos preços. O uso de um número muito grande poderia fazer com que a tendência dos últimos jogos se perdesse em relação ao conjunto total analisado.

7.4.2 Previsão para o Segundo Minuto em Diante

Para o segundo minuto em diante, as previsões realizadas são feitas com base no sistema *SFO* descrito na seção 7.3. Lembrando que este sistema ao ser utilizado para realizar a previsão de um certo leilão de hotel, indicará o incremento a ser feito em relação a última cotação recebida.

7.4.3 Retirada de Lances Não-Lucrativos

É possível que durante um jogo, um agente realize um lance em um leilão de hotel e depois se arrependa. Isto pode acontecer, por exemplo, se o preço de um dado leilão aumentar bastante. Embora não seja possível a retirada de lances, se o agente *e-Agent* quiser retirar seus lances em um dado leilão de hotel, ele tenta fazer com que uma nova oferta não configure entre as 16 maiores ofertas.

Para isso, ele realiza um novo lance em substituição ao antigo, cujo valor seja o valor da última cotação acrescido de \$1 (condição para que um lance seja aceito no servidor). Agindo desta maneira, ele espera que os lances dos outros agentes ultrapassem o seu e desse modo o seu lance não permaneça entre as 16 maiores ofertas. O mesmo procedimento foi realizado pelo agente SouthamptonTAC.

7.4.4 Ajustes nos Lances do Leilão de Hotel

Durante o jogo TAC-Classic, é possível obter a informação de quantos quartos hipoteticamente o agente compraria com o valor de seu último lance se tal leilão tivesse terminado.

Se o agente *e-Agent* verificar que seu último lance não foi suficiente para a compra de todos os quartos que ele gostaria, ele aumenta sua oferta. Este aumento consiste em 10% do valor fornecido pelo sistema *SFO*.

7.5 Resumo

Este capítulo descreveu a estratégia desenvolvida para o agente *e-Agent* utilizar nos leilões de hotel. Ela engloba os módulos Preditor Leilão de Hotel e Negociação de Quartos de Hotel. Em relação ao primeiro, foram apresentados 2 preditores. Um deles é utilizado no minuto inicial do jogo e consiste na média aritmética dos lances efetuados no primeiro minuto dos últimos 6 jogos. Já o segundo preditor consiste de três bases de regras *fuzzy* do tipo TS similar às propostas pelo agente SouthamptonTAC. Otimizou-se as funções de pertinências e os consequentes das regras daquelas três bases. Ao novo sistema deu-se o nome de *SFO*, sendo o antigo referenciado como *SF*. Simulações mostraram que o sistema *SFO* foi capaz de realizar mais previsões válidas com um menor *EQM* quando comparado ao resultado do sistema *SF*.

Em relação ao módulo Negociação de Quartos de Hotel foi apresentado um procedimento a ser tomado quando um leilão de hotel não for mais de interesse do agente *e-Agent*. Mostrou-se também que para garantir um maior sucesso nesse tipo de leilão, quando o último lance não for suficiente para arrematar hipoteticamente todos os quartos desejados, uma opção é aumentar o valor do lance futuro a ser previsto pelo sistema *SFO*.

Capítulo 8

Estratégia para o TAC-Classic: Leilão de Ingresso de Lazer

Este capítulo descreve a estratégia utilizada pelo agente *e-Agent* nos leilões de ingresso de lazer. Na arquitetura do agente *e-Agent*, esta se encontra codificada no módulo Negociação de Ingressos de Lazer (seção 8.2). Uma estratégia para este tipo de leilão deve contemplar algum método que propicie um lucro maior do agente que a usa em relação a seus adversários. Para lidar com isso serão apresentados alguns procedimentos.

8.1 Precauções no Leilão de Ingresso de Lazer

No leilão de ingresso de lazer, os agentes participantes do jogo TAC-Classic compram e vendem ingressos. Uma negociação deste tipo de bem permite aos agentes aumentarem a utilidade de seus clientes através da compra de ingressos e a redução dos custos dos pacotes formados através da venda de ingressos. No entanto, um cuidado especial deve ser tomado ao submeter as ofertas de compra e venda para que estas maximizem o lucro do agente sem fazer o mesmo com os seus competidores (Fasli and Poursanidis, último acesso em 12/2005).

Ao comprar um ingresso, o agente deve ter cuidado para não proporcionar maior utilidade para quem o está vendendo. Por exemplo, suponha que um agente compre um ingresso a \$120 para um cliente que oferece um bônus de \$150 por ele. Ao fim da negociação, o agente comprador terá uma utilidade de $\$150(\text{bônus do cliente}) - \$120(\text{custo do ingresso}) = \30 . Portanto, enquanto o agente comprador lucrou \$30 com esta negociação, o agente vendedor lucrou \$120 (o custo total de suas despesas foi diminuído de \$120).

Em relação a venda de ingresso, o agente deve ter cuidado para não proporcionar maior utilidade para quem o está comprando. Suponha que um agente tenha um ingresso que não é de seu interesse

e por isso decida vendê-lo por \$30. Se existir um agente interessado na compra deste ingresso por possuir um cliente que ofereça um bônus de \$100 e a compra for realizada, o agente comprador lucrará $\$100 - \$30 = \$70$, enquanto o agente vendedor só lucrará \$30.

8.2 Lances para o Leilão de Ingresso de Lazer

O agente *e-Agent* realiza ofertas de compra e venda de ingressos em momentos específicos do jogo. A decisão de quais ingressos comprar ou vender depende dos pacotes de viagem montados pelo módulo Alocador para cada um dos clientes do agente, nos ingressos que ele já possui e na preferência da cada um de seus clientes por desfrutar os eventos de lazer.

O agente pode durante um jogo, dependendo da saída do módulo Alocador, modificar o plano de viagem para um cliente, por exemplo, alterando o dia de sua viagem de ida por não ter conseguido obter um quarto de hotel.

Mudanças de planos podem fazer com que um ingresso inicialmente desejado deixe de ser útil. Nessa situação, se uma oferta de compra para um ingresso foi realizada e não contemplada, o agente *e-Agent* retirará esta oferta do leilão. Caso contrário, ele colocará o ingresso obtido à venda. Do mesmo modo, mudanças de planos podem fazer com que um ingresso antes não desejado e, portanto, colocado a venda, se faça necessário. Nesse caso, se a oferta de venda não tiver sido contemplada, o agente retirará esta oferta. Caso contrário, ele fará uma oferta para comprar o ingresso.

As próximas seções indicarão os momentos em que o agente *e-Agent* realiza suas ofertas de compra e venda e como é determinado o valor destas.

8.2.1 Venda de Ingressos

O agente *e-Agent* antes de vender seus ingressos tenta distribuí-los entre seus clientes, considerando os pacotes de viagem montados pelo alocador para cada um deles. Se um ingresso for compatível com mais de um pacote de viagem, ele será alocado para o cliente que oferecer o maior bônus para possuí-lo. Após realizar esta distribuição, ele põe a venda os ingressos não utilizados. As ofertas de venda têm seus valores alterados em três momentos do jogo conforme a Tabela 8.1.

Tempo de Jogo (minuto)	Valor da Oferta de Venda
1	\$120
4	\$110
8	\$90

Tabela 8.1: Ofertas de venda em função do tempo.

Pode-se verificar na Tabela 8.1 que o valor da oferta de venda diminui ao longo do jogo. Se mesmo assim os agentes interessados em comprar tais ingressos realizarem ofertas de compra por um preço menor, o agente *e-Agent* não reduz mais sua oferta para evitar que seu lucro seja inferior ao do agente comprador.

Os valores apresentados na Tabela 8.1 foram obtidos empiricamente através de experimentos realizados na competição oficial TAC-Classic 2005.

8.2.2 Compra de Ingressos

O agente *e-Agent* faz ofertas de compra para obter ingressos que possam complementar os pacotes de viagem montado pelo alocador para cada um de seus clientes.

Em três momentos o agente *e-Agent* faz ofertas de compra. O valor de cada uma das ofertas será determinado a partir de uma percentagem incidente sobre o bônus oferecido pelo cliente que almeja o ingresso. A percentagem varia com o tempo de duração do jogo. A Tabela 8.2 retrata estas informações.

Tempo de Jogo (minuto)	Percentagem
1	40%
4	50%
8	60%

Tabela 8.2: Percentagem considerada na compra de ingressos em função do tempo.

Na Tabela 8.2, é possível verificar que o agente *e-Agent* faz ofertas de compra no primeiro, quarto e oitavo minuto de jogo. Ao longo do tempo, ele aumenta o valor de suas ofertas, porém não mais que 60% do bônus oferecido pelo cliente. Se mesmo assim, não for possível comprar um ingresso devido a seu preço ser superior a 60% do bônus que um cliente oferece, o agente *e-Agent* não aumentará mais sua oferta para evitar que o lucro do agente vendedor seja maior do que o seu.

Os valores apresentados na Tabela 8.2 foram obtidos empiricamente através de experimentos realizados na competição oficial TAC-Classic 2005.

8.3 Resumo

Este capítulo apresentou a estratégia utilizada pelo agente *e-Agent* no leilão de ingresso de lazer. Essa estratégia compõe o módulo Negociação de Ingressos de Lazer. Esta foi pensada de modo a fazer com que o lucro obtido pelo agente *e-Agent*, independentemente da compra ou venda de ingressos,

seja superior à de seus adversários. Na venda de ingressos, o agente os negocia por um valor mínimo de \$90. Já na compra, o valor oferecido é função do bônus dado pelo cliente interessado no ingresso.

Capítulo 9

Estratégia para o TAC-Classic: Alocador

Este capítulo descreve a estratégia desenvolvida para o agente *e-Agent* decidir, durante um jogo do TAC-Classic, quais vôos e quartos de hotel comprar. Ela se encontra codificada no módulo Alocador. O alocador aqui utilizado é baseado em (He and Jennings, 2004), sendo este, por sua vez, uma melhoria do modelo sugerido em (Stone et al., 2002).

9.1 Alocador

O alocador é um elemento importante pois ele determina quais vôos e quartos de hotel devem ser adquiridos pelo agente. Além disso, ele aloca os bens já adquiridos e os a serem obtidos no futuro entre os clientes do agente. Isto é feito de modo a maximizar a utilidade de cada cliente e minimizar o custo das aquisições futuras (desconsidera-se aqui os ingressos de lazer).

Modelou-se o alocador como um problema de Programação Linear Inteira. Ele possui 100 restrições e 272 variáveis (acrescentou-se oito restrições em relação ao modelo detalhado em (He and Jennings, 2004)).

Um exemplo da saída fornecida pelo alocador pode ser visto na tabela 9.1.

Na Tabela 9.1, em relação aos “**Bens a Serem Comprados**” tem-se indicado que o agente *e-Agent* precisa comprar um voo de ida no dia 1, três no dia 2 e dois nos dias 3 e 4; comprar dois vôos de volta no dia 3 e três nos dias 4 e 5; que o hotel TT se faz necessário no dia 2 (três quartos), dia 3 (três quartos) e dia 4 (três quartos); que precisa-se de hotel SS para o dia 1 (um quarto), dia 2 (um quarto) e dia 3 (um quarto). Quanto aos “**Pacotes de Viagem Individuais**”, eles são os seguintes: cliente 1 viajará no dia 4, retornará no dia 5 e ficará no hotel TT (1 no terceiro elemento da tupla); cliente 2 viajará no dia 1, retornará no dia 4 e ficará no hotel SS (0 no terceiro elemento da tupla), irá à luta de crocodilo no dia 3, parque de diversão no dia 2 e museu no dia 1; e assim sucessivamente para cada um dos clientes restantes.

Bens a Serem Comprados	
Vôos de ida	(1, 3, 2, 2)
Vôos de volta	(0, 2, 3, 3)
Hotel TT	(0, 3, 3, 3)
Hotel SS	(1, 1, 1, 0)
Pacotes de Viagem Individuais	
Cliente 1	(4, 5, 1, 0, 0, 0)
Cliente 2	(1, 4, 0, 3, 2, 1)
Cliente 3	(3, 5, 1, 3, 0, 0)
Cliente 4	(3, 4, 1, 3, 0, 0)
Cliente 5	(4, 5, 1, 0, 0, 0)
Cliente 6	(2, 3, 1, 0, 0, 0)
Cliente 7	(4, 5, 1, 0, 0, 0)
Cliente 8	(2, 4, 1, 3, 2, 0)

Tabela 9.1: Saida do Alocador.

O Apêndice B detalha o modelo PLI aqui discutido. Em linhas gerais, quanto às 272 variáveis:

1. Cada cliente escolhe um dia para viajar (1-4), um dia para voltar (2-5) e um tipo de hotel para se hospedar (TT ou SS). Isto significa que há um total de 20 pacotes válidos para cada cliente: (1 2 1), (1 3 1), (1 4 1), (1 5 1), (2 3 1), (2 4 1), (2 5 1), (3 4 1), (3 5 1), (4 5 1), (1 2 0), (1 3 0), (1 4 0), (1 5 0), (2 3 0), (2 4 0), (2 5 0), (3 4 0), (3 5 0), (4 5 0). Isto resulta em 160 variáveis (20 pacotes de viagem para cada um dos 8 clientes);
2. Há 12 tipos de ingressos para eventos de lazer (três tipos para quatro dias). Para oito clientes, têm-se 96 variáveis;
3. Existem oito variáveis para denotar a quantidade de vôos a serem comprados em cada um dos leilões de vôo;
4. Oito variáveis denotam a quantidade necessária de quartos de hotel para cada um dos leilões de hotel. Desde que ao fim de cada minuto do jogo um dos leilões de hotel termina, o número de variáveis diminui de 272 para 264 ao fim do 8º minuto.

Em relação às 92 restrições, elas decorrem do fato de:

1. Cada cliente só pode usar um pacote de viagem válido (oito restrições);
2. O número de vôos, quartos de hotel e ingressos de lazer alocados deve ser menor ou igual a quantidade correspondente dos bens que o agente já possui e/ou vai comprar (28 restrições);

3. Cada cliente só pode desfrutar uma vez cada um dos três tipos de eventos de lazer (24 restrições);
4. Cada cliente só deve utilizar seus ingressos de lazer durante o período em que ele permanecer em TACtown (32 restrições);
5. O número de vôos de ida comprados para cada um dos dias deve ser menor ou igual ao número de clientes que deseja viajar neste dia (4 restrições).
6. O número de vôos de volta comprados para cada um dos dias deve ser menor ou igual ao número de clientes que deseja voltar neste dia (4 restrições).

Estas últimas oito restrições foram adicionadas ao modelo utilizado em (Stone et al., 2002) para evitar que o alocador diante de um leilão de vôo com um preço barato montasse todos os oito pacotes de viagem com base neste vôo (haveria o risco associado de não se obter todos os oito quartos de hotel em conformidade com este dia de viagem);

Para se utilizar o alocador, deve-se fornecer como dados de entrada:

1. A quantidade de vôos de ida e de volta possuídos pelo agente em cada um dos dias;
2. A quantidade de quartos de hotel já obtidos em cada dia para cada um dos tipos de hotel (TT/SS);
3. A quantidade de ingressos de lazer possuído pelo agente em cada combinação tipo de ingresso/dia;
4. As cotações de preço correntes para cada um dos leilões de vôo;
5. As previsões de preço para cada um dos leilões de hotel;
6. A carteira de preferências dos clientes.

O alocador foi implementado com um pacote de programação linear interia LPSolver¹. Era possível obter as soluções por ele geradas, quase sempre, em menos de um segundo.

9.2 Resumo

Este capítulo apresentou a construção do alocador, mostrando sua importância para definição dos vôos e quartos de hotel comprados no jogo *TAC-Classic*.

¹Disponível em http://groups.yahoo.com/group/lp_solve/files/

Capítulo 10

Resultados

Este capítulo descreve a participação do agente *e-Agent*, implementado conforme as estratégias apresentadas nessa dissertação, na competição oficial *TAC-Classic 2005*. Após uma breve apresentação dos participantes serão descritas todas as etapas que constituem a competição, as melhorias que foram implementadas no agente *e-Agent* e como estas influenciaram os resultados desse agente em cada etapa. Por fim, faz-se uma análise global do desempenho do agente.

10.1 Participantes do *TAC-Classic 2005*

No ano de 2005, 11 agentes de viagem participaram da competição. Eles foram desenvolvidos por diversas instituições de pesquisa e ensino. A Tabela 10.1 apresenta o nome de cada um dos agentes de viagem participantes, o líder de cada equipe que atuou no desenvolvimento do agente e a afiliação correspondente.

A maioria dos agentes inscritos já chegou à etapa final (*Finals*) em competições passadas do *TAC-Classic*. O agente CUHK2005 ficou em oitavo lugar na competição de 2002. Por sua vez, o agente RoxyBot ficou em segundo no ano 2002, oitavo em 2003 e oitavo em 2004. Já Walverine ficou em quinto lugar no ano de 2002, sétimo em 2003 e segundo em 2004. Whitebear2005 foi terceiro lugar em 2001, primeiro em 2002, terceiro em 2003 e primeiro em 2004. LearnAgents esteve em terceiro lugar em 2004 e por fim, SICS02 ficou em quarto lugar no ano de 2004.

Pela primeira vez no *TAC-Classic*, estiveram os agentes *kin_agent*, *Dolphin*, *Mertacor*, *Freud* e *e-Agent*. Embora o agente *Dolphin* nunca tenha participado, o líder do seu time, Nicholas Jennings, comandou o agente *SouthamptonTAC*, sexto lugar em 2001 e segundo lugar em 2002.

A variedade de abordagens utilizadas pelos agentes na competição TAC faz com que esta seja sempre bastante desafiadora. O Capítulo 4 descreveu alguns dos agentes participantes (não foi possível descrever a estratégia de todos os agentes participantes em 2005, pois alguns não estavam retratados

Agente	Líder da Equipe	Afiliação
CUHK2005	Leung Ho Fung	The Chinese University of Hong Kong
kin_agent	Kin Lei	University of Macau
RoxyBot	Amy Greenwald	Brown University
Walverine	Michael Wellman	University of Michigan
Dolphin	Nick Jennings	University of Southampton
Mertacor	Pericles A. Mitkas	Aristotle University of Thessaloniki
whitebear05	Ioannis A. Vetsikas	Cornell University
Freud	Scotty Thomas	Individual
LearnAgents	Alberto Sardinha	PUC-Rio
<i>e-Agent</i>	Cynthia Gonzaga	UNICAMP
SICS02	Niclas Finne	SICS

Tabela 10.1: Agentes participantes do TAC-Classic 2005.

na literatura).

A competição do TAC-Classic no ano de 2005 se constituiu de quatro etapas: *Qualifying*, *Seeding*, *Semi-finals* e *Finals*. Estas etapas serão descritas nas próximas seções.

10.2 Etapa *Qualifying*

O objetivo dessa primeira etapa é permitir que os projetistas possam avaliar as estratégias desenvolvidas para seus agentes antes da competição. Nela, todos os agentes participam de 600 jogos. Nos intervalos entre os jogos, que duram três minutos, é possível alterar as estratégias empregadas. Todos os participantes têm presença garantida na próxima etapa, o *Seeding*. Entretanto, equipes que demonstrarem um desempenho muito abaixo do esperado são notificadas e devem assumir o compromisso de melhorar seus agentes.

Essa etapa teve início em 13 de junho de 2005 e durou duas semanas. A competição acontecia de segunda à sexta-feira, 24 horas por dia (com exceção da sexta-feira, quando a competição se encerrava por volta do meio-dia, horário local). A programação dos jogos foi feita pelo servidor TAC de modo que houvesse rotatividade entre os agentes participantes.

10.2.1 Resultados

A posição do agente *e-Agent* na etapa *Qualifying* pode ser vista na Tabela 10.2.

A coluna “**Jogos Nulos**” na Tabela 10.2 se refere ao número de jogos nos quais o agente obteve pontuação nula (no caso, nada foi comprado e/ou vendido impossibilitando a montagem dos pacotes

Posição	Agente	Média das Pontuações	Jogos Nulos
1	whitebear05	4158,78	3
2	SICS02	3951,35	0
3	LearnAgents	3938,22	5
4	Mertacor	3918,45	11
5	kin_agent	3725,15	1
6	Walverine	3689,40	44
7	Dolphin	3518,03	19
8	Freud	3451,69	0
9	RoxyBot	3163,71	19
10	CUHK2005	2918,12	75
11	<i>e-Agent</i>	2774,56	43

Tabela 10.2: Pontuações dos agentes na etapa *Qualifying*.

de viagem). Isso geralmente ocorre quando o agente por alguma razão perde a conexão com o servidor. Para todos os efeitos, os jogos com pontuação nula são considerados no cálculo da pontuação do agente (é atribuída pontuação igual a 0). Dos 600 jogos que o agente *e-Agent* participou, em 43 ele teve pontuação nula. Isso aconteceu devido a problemas de queda de energia e na conexão com a Internet.

Durante essa etapa, alguns parâmetros foram sintonizados, como por exemplo a percentagem que incide na quantidade de vôos a serem comprados ao se identificar interesse em um leilão de vôo de categoria 3 (preços tendem a aumentar). Em especial, no leilão de ingressos de lazer, foi testado qual seria o valor a ser utilizado para a venda dos ingressos (valor máximo que ainda permitia a venda dos ingressos). Para a compra de ingressos, verificou-se qual seria a percentagem a ser incidida sobre o bônus em que os clientes ofereciam (isso determina o valor máximo que o agente *e-Agent* está disposto a oferecer pela compra dos ingressos).

O agente *e-Agent* só realizava a compra e venda de ingressos no último minuto do jogo e só fazia lances para o leilão de hotel a partir do 2º minuto do jogo (a partir desse instante era possível utilizar o preditor do leilão de hotel). Essas estratégias prejudicaram o agente, pois agindo desse modo ele acabava por desperdiçar boas oportunidades de compra e venda de ingressos de lazer no decorrer do jogo. Quanto ao leilão de hotel, o agente nunca obtinha os quartos do leilão que terminava no 1º minuto, quando muitas vezes esses eram de suma importância para a formação dos pacotes de viagem.

O desempenho mais detalhado do agente pode ser visto na Figura 10.1.

Na Figura 10.1, o símbolo 'x' indica a pontuação do agente em cada jogo e a linha vermelha é obtida calculando-se em cada ponto a média aritmética da pontuação daquele jogo juntamente com

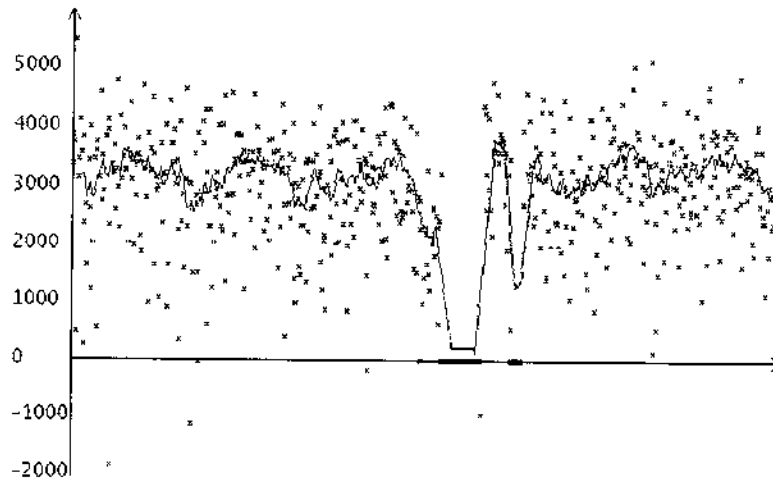


Figura 10.1: Desempenho do agente *e-Agent* na etapa *Qualifying*.

a dos 7 jogos anteriores e os 7 posteriores. O gráfico é atualizado ao final de cada jogo e é útil para indicar tendências do desempenho do agente.

Pode ser verificado nesta figura que a pontuação média em dois momentos diminuiu bastante. Esses momentos se referem aos jogos nos quais o agente obteve pontuação nula devido a problemas com a rede elétrica e com a Internet. Observa-se também que em alguns jogos o agente obteve pontuação negativa. Esses casos são decorrentes de o custo do agente ter sido maior do que a utilidade obtida com a montagem dos pacotes de viagem.

Considerando os jogos onde não aconteceram problemas, o agente obteve em 14% dos jogos pontuações baixas (abaixo de 2000, incluindo aqueles com pontuação negativa). Por outro lado, em 12% dos jogos o agente *e-Agent* obteve boas pontuações (acima de 4000, a pontuação usualmente obtida pelos primeiros lugares em cada jogo).

10.3 Etapa *Seeding*

O objetivo dessa etapa é selecionar os agentes que vão participar da etapa *Semi-finals*. Entretanto, devido ao pequeno número de participantes, todos foram automaticamente classificados para a etapa seguinte.

Essa etapa teve início em 11 de julho de 2005 e durou outras duas semanas. Nela, todos os agentes participaram de 688 jogos. A exemplo do que acontecia na etapa *Qualifying* a competição acontecia

de segunda à sexta-feira, 24 horas por dia (com exceção da sexta-feira, quando a competição se encerrava por volta do meio-dia, horário local), com um intervalo de 3 minutos entre os jogos.

É possível também no *Seeding* que os projetistas dos agentes participantes reavaliem as estratégias empregadas nos agentes.

10.3.1 Resultados

A posição do agente *e-Agent* pode ser vista na Tabela 10.3.

Posição	Agente	Média das Pontuações	Jogos Nulos
1	whitebear05	4168,61	3
2	Walverine	4061,97	16
3	Mertacor	4033,32	7
4	LearnAgents	3941,08	13
5	SICS02	3931,41	22
6	RoxyBot	3803,27	22
7	kin_agent	3645,22	3
8	Freud	3571,94	10
9	Dolphin	3449,63	41
10	CUHK2005	3352,74	2
11	<i>e-Agent</i>	2871,22	100

Tabela 10.3: Pontuações dos agentes na etapa *Seeding*.

Dos 688 jogos que o agente *e-Agent* participou, em 100 ele obteve pontuação nula. Mais uma vez, isso aconteceu devido a problemas de queda de energia e na conexão com a Internet.

O desempenho do agente *e-Agent* é apresentado na Figura 10.2.

Na Figura 10.2, em quatro momentos a pontuação média do agente diminuiu bastante. Esses momentos se referem aos jogos nos quais o agente obteve pontuação nula ou negativa (problemas com a rede elétrica e com a Internet).

As pontuações negativas obtidas pelo agente, principalmente durante a primeira noite da competição, aconteceram devido à conexão local com *links* internacionais na Internet estar instável. Se durante a competição ocorrer um problema de conexão do agente com o servidor TAC, então o agente autonomamente tenta continuamente restabelecer a conexão ao servidor até que ele consiga ou sua execução seja interrompida. Durante a noite em questão, a conexão com o servidor TAC estava instável. Se a conexão caía durante um jogo, o agente não tinha como completar sua estratégia (que inclui compras/vendas durante todo o jogo). Dessa forma, ele se prejudicava pois não conseguia fazer todas as compras necessárias e com as já realizadas não era possível montar um pacote de viagem. Logo, o custo se tornava maior do que a utilidade dos eventuais pacotes montados.

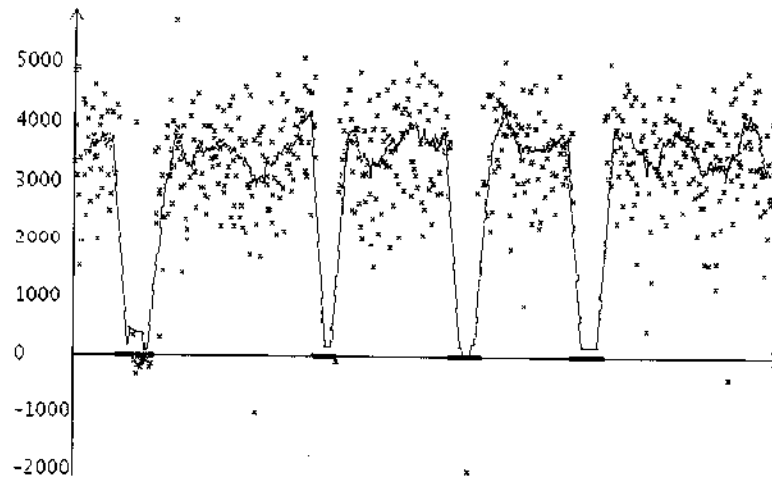


Figura 10.2: Desempenho do agente *e-Agent* na etapa *Seeding*.

Por sua vez, quando o agente se reconectava ao servidor TAC durante a execução de um jogo (o ideal seria no intervalo entre jogos), ele não percebia que estava ingressando em um jogo em andamento e acabava por agir como se estivesse no início. Mais uma vez, o agente não tinha tempo de concluir suas estratégias e acabava fazendo algumas compras, mas não o suficiente para montar os pacotes de viagem, resultando na pontuação negativa.

Considerando os jogos nos quais o agente não teve problemas que resultaram em pontuações nulas ou negativas, pode ser verificado que a pontuação média do agente melhorou quando comparada à Figura 10.1. Na Figura 10.2, o agente teve 3.5% das pontuações abaixo de 2000 e 25% acima de 4000 (na etapa *Qualifying* o agente *e-Agent* obteve respectivamente 14% e 12%). Portanto, o agente diminuiu o índice de pontuações baixas e aumentou consideravelmente o de pontuações altas.

A melhoria do agente foi resultado da inclusão de funcionalidades como a compra e venda de ingressos acontecendo durante todo o jogo (não mais apenas no minuto final) e a realização de lances para o leilão de hotel já no minuto inicial do jogo (o que não acontecia na etapa anterior). Para cada um dos leilões de hotel (TT-1,..., TT-4 e SS-1,..., SS-4), era atribuído um valor fixo para o lance no minuto inicial, valor esse utilizado em todos os jogos. Esses valores eram passados para o Alocador figurando como uma previsão para os valores finais (16º maior lance) no primeiro minuto. Caso o Alocador ordenasse a compra dos quartos de hotéis, os lances eram feitos com esses mesmos valores.

Embora o agente tenha apresentado um bom desempenho nessa etapa do jogo, pontuações nulas e negativas acabaram por prejudicar a classificação final do agente.

10.4 Etapa Semi-finals

O objetivo dessa etapa é determinar quais agentes participarão da última etapa, *Finals*. Dos 11 agentes, apenas os oito melhores colocados irão para a etapa final. Essa etapa durou apenas dois dias: 1 e 2 de agosto de 2005, sendo oito horas de competição em cada dia. Ao todo, os agentes participaram de 56 jogos. O intervalo entre jogos foi mantido - 3 minutos. É possível, a exemplo das etapas anteriores, que os projetistas venham a alterar as estratégias empregadas nos seus agentes.

10.4.1 Resultados

A posição do agente *e-Agent* pode ser vista na Tabela 10.4. Como o agente *e-Agent* ficou entre os oito primeiros, foi selecionado para participar da etapa *Finals*.

Posição	Agente	Média das Pontuações	Jogos Nulos
1	whitebear05	4137,75	0
2	Walverine	4072,32	0
3	Mertacor	4023,88	0
4	LearnAgents	3952,69	1
5	Dolphin	3936,16	0
6	RoxyBot	3933,13	0
7	SICS02	3838,51	0
8	<i>e-Agent</i>	3483,43	0
9	kin_agent	3148,55	0
10	Freud	2710,34	11

Tabela 10.4: Pontuações dos agentes na etapa *Semi-finals*.

O desempenho do agente *e-Agent* é apresentado na Figura 10.3.

Nessa etapa, ao contrário das duas anteriores, o agente não teve problemas de rede elétrica nem de conexão com a Internet.

Embora desde a etapa anterior fossem realizados lances para o leilão de hotel já no minuto inicial do jogo, anteriormente estes tinham valores fixos para cada um dos leilões de hotel (TT-1, ..., TT-4 e SS-1, ..., SS-4). Nessa etapa, procurou-se deixar tais valores mais flexíveis. Eles passaram a ser a média das cotações anunciadas no 1º minuto dos últimos 6 jogos (conforme já explicado no Capítulo 7).

Essa alteração fez com que o agente *e-Agent* melhorasse o seu desempenho em relação à etapa anterior, uma vez que obteve menos pontuações baixas (1,8%, em contraste com os 3,5% da etapa anterior) e manteve aproximadamente a mesma percentagem de pontuações altas.

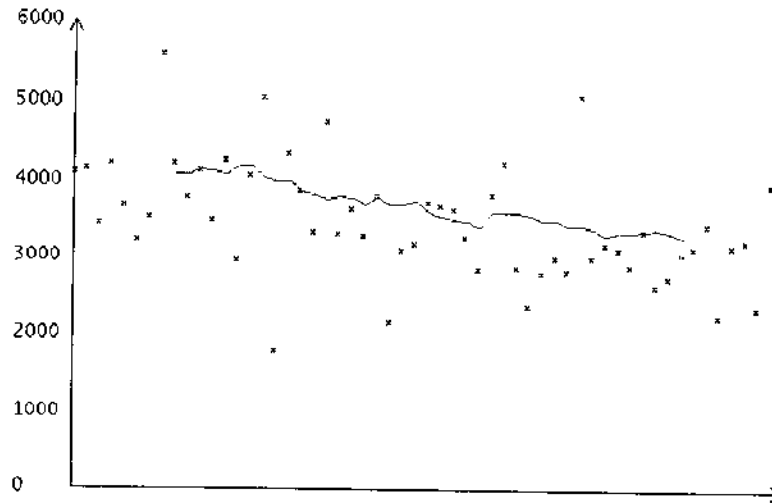


Figura 10.3: Desempenho do agente *e-Agent* na etapa *Semi-finals*.

10.5 Etapa *Finals*

Essa etapa, a última, aconteceu em 03 de agosto de 2005. Os agentes jogaram simultaneamente em dois servidores TAC distintos (tac1 e tac2). Em cada um dos servidores os agentes participaram de 40 jogos, totalizando 80 jogos. Durante esta etapa não era possível que os projetistas alterassem as estratégias empregadas em seus agentes.

10.5.1 Resultados

A posição do agente *e-Agent* pode ser vista na Tabela 10.5. A pontuação final foi calculada a partir dos resultados obtidos em cada um dos servidores. O agente *e-Agent* manteve um bom desempenho em ambos os servidores, terminando a competição na sétima colocação.

O desempenho do agente *e-Agent* em cada um dos servidores é apresentado nas Figuras 10.4 e 10.5. Assim como na etapa *Semi-finals*, nesta etapa o agente *e-Agent* não obteve nenhuma pontuação nula nem negativa.

Em relação às pontuações baixas, o agente *e-Agent* diminuiu ainda mais este índice, caindo de 1,8% na etapa anterior para 1,2% nesta. Quanto às pontuações altas, acima de 4000, a percentagem também diminuiu, em oposição ao comportamento de melhora contínua observado nas etapas anteriores. Atribui-se essa mudança de comportamento ao fato de, por esta ser a etapa final, os demais agentes (a maioria tendo participado de mais de uma competição) terem aguardado para colocar em

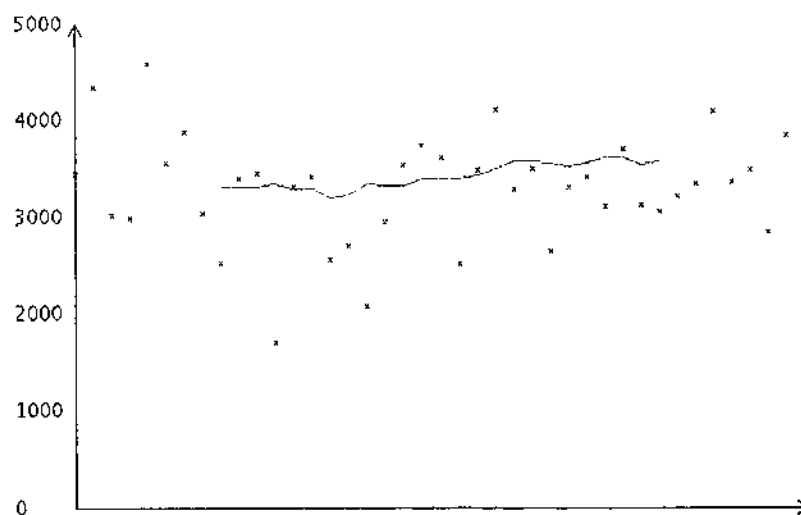


Figura 10.4: Desempenho do agente *e-Agent* na etapa *Finals* (servidor tac1).

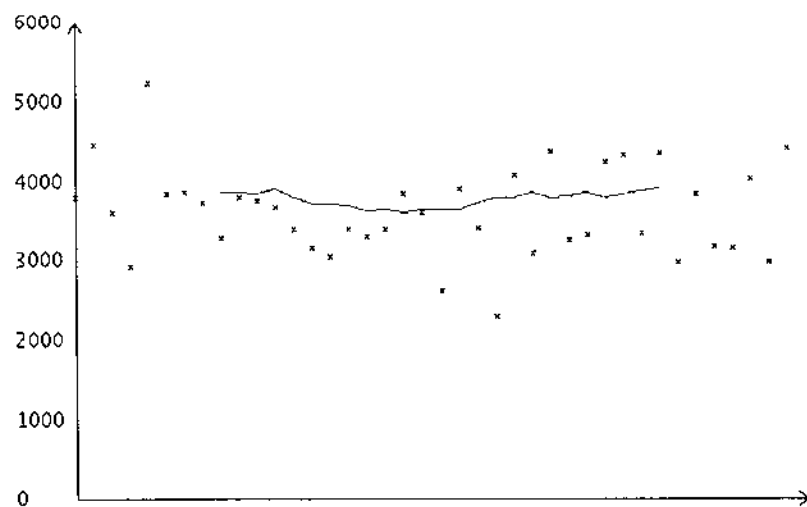


Figura 10.5: Desempenho do agente *e-Agent* na etapa *Finals* (servidor tac2).

Posição	Agente	Média das Pontuações	Jogos Nulos
1	Mertacor	4126,49	0
2	whitebear05	4105,68	0
3	Walverine	4058,90	2
4	Dolphin	4022,79	0
5	SICS02	3972,29	0
6	LearnAgents	3899,24	0
7	<i>e-Agent</i>	3451,25	0
8	RoxyBot	3167,64	10

Tabela 10.5: Pontuações dos agentes na etapa *Finals*.

prática suas estratégias mais agressivas e/ou mais elaboradas. No entanto, ainda assim pôde ser verificada uma melhoria global no desempenho do *e-Agent*, pois a percentagem das pontuações acima de 3000 aumentou progressivamente de 56% na etapa *Qualifying*, para 74% na *Seeding*, 76% na *Semi-finals* e finalmente 81% na etapa *Finals*.

10.6 Análise Geral

A Tabela 10.6 apresenta as percentagens dos jogos do agente *e-Agent* em alguns intervalos de pontuações para as quatro etapas disputadas do TAC-Classic 2005, considerando apenas os jogos nos quais não aconteceram problemas com a rede elétrica ou a Internet. Por exemplo, em 1,08% dos jogos válidos na etapa *Qualifying* o agente obteve pontuações negativas.

Intervalo de pontuação	<i>Qualifying</i> (%)	<i>Seeding</i> (%)	<i>Semi-finals</i> (%)	<i>Finals</i> (%)
Menor que 0	1,08	0,00	0,00	0,00
0 a 1 mil	3,05	0,70	0,00	0,00
1 a 2 mil	9,69	2,97	1,79	1,25
2 a 3 mil	29,98	22,16	21,43	17,50
3 a 4 mil	44,17	49,39	53,57	65,00
4 a 5 mil	11,49	23,91	17,86	15,00
Acima de 5 mil	0,54	0,87	5,36	1,25

Tabela 10.6: Distribuição dos jogos do agente *e-Agent* ao longo das etapas.

Os dados da Tabela 10.6 podem ser visualizados na Figura 10.6.

Nesta figura pode ser verificado que o agente *e-Agent* de fato melhorou gradativamente seu desempenho ao decorrer das etapas, no sentido que as percentagens de pontuações baixas sempre diminuíram de uma etapa para a seguinte. Além disso, embora na etapa *Finals* o agente tenha obtido uma

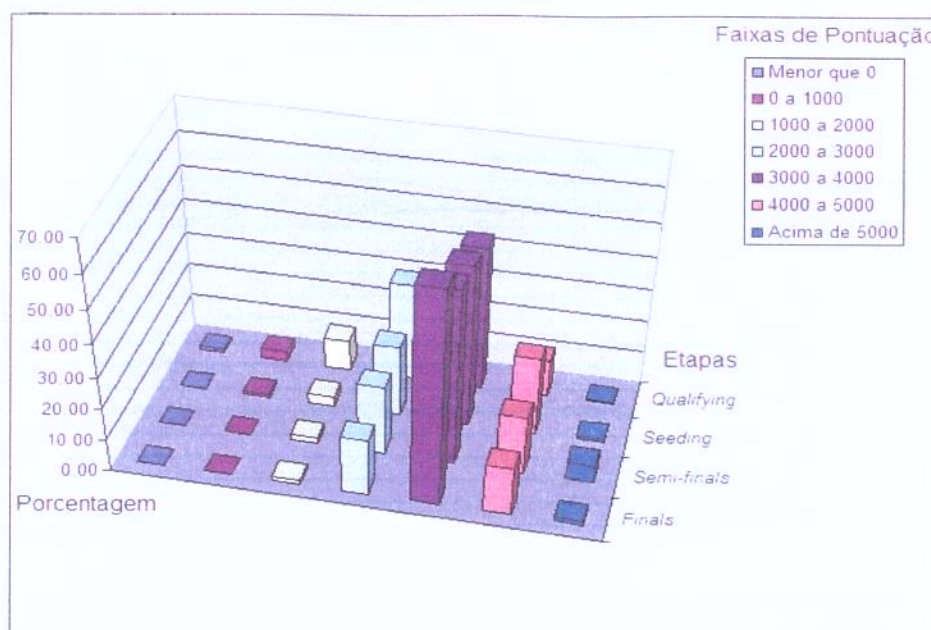


Figura 10.6: Distribuição dos jogos do agente *e-Agent* ao longo das etapas.

menor porcentagem de pontuações na faixa “Acima de 5000”, ele concentrou suas pontuações em um intervalo único e relativamente bom (de 3 a 4 mil). Na verdade, como também pode ser observado na Figura 10.6, ao longo de todas as etapas as pontuações foram se concentrando nesse intervalo. Isso demonstra que o agente ficou mais estável com as várias alterações e melhorias implementadas durante a competição, uma vez que, independentemente da distribuição inicial das preferências dos clientes e dos seus oponentes, ele na maioria dos jogos conseguia obter pontuações nesse mesmo intervalo.

Embora ao longo da competição o agente *e-Agent* não tenha ficado bem colocado, de acordo com a Figura 10.7 ele foi o que apresentou uma maior melhoria dos resultados. Esta figura, segundo a notação do eixo das abscissas, exibe a diferença da pontuação dos agentes finalistas desde a etapa *Qualifying* até as demais etapas.

Ao longo do jogo, o agente *e-Agent* foi um dos agentes que apresentou uma maior melhoria dos resultados. Como pode ser observado na Figura 10.7, da etapa *Qualifying* para a *Seeding*, ele foi o quarto agente que mais melhorou sua pontuação. Por sua vez, considerando a evolução na pontuação desde a etapa *Qualifying* até a *Semi-finals*, ele foi o segundo agente que mais evoluiu. Por fim, ao se considerar a diferença de pontuação desde a etapa *Qualifying* até a *Finals*, ele foi o agente que mais melhorou seu desempenho.

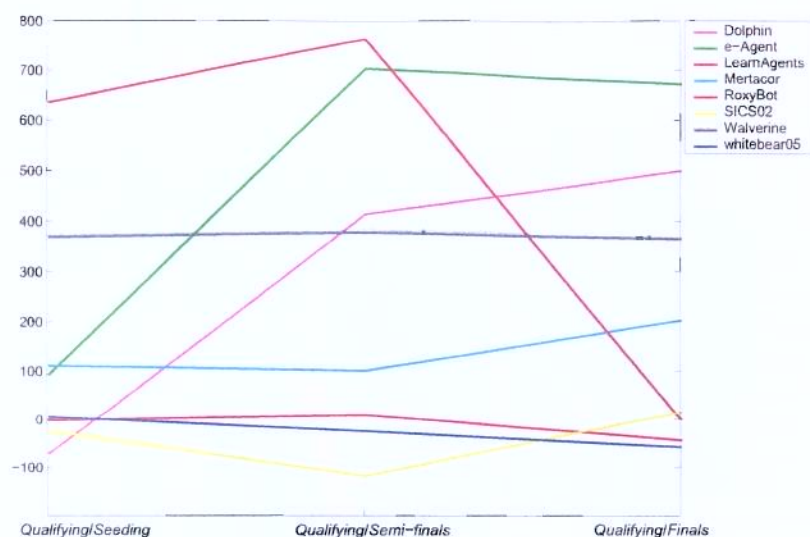


Figura 10.7: Evolução das pontuações dos 8 agentes finalistas ao longo das etapas.

10.7 Resumo

Este capítulo descreveu a participação do agente *e-Agent* no TAC-Classic 2005. Foram mostrados a posição e o desempenho do agente em cada uma das etapas da competição. Verificou-se que o agente apresentou uma melhora contínua, diminuindo a percentagem de pontuações baixas nos jogos válidos ao longo das etapas. Além disso, seus resultados passaram a se concentrar em uma faixa de pontuação relativamente boa. Isto demonstrou que o agente passou a ter uma maior estabilidade das suas estratégias frente às variações no ambiente da competição, como a carteira de preferências dos clientes e as estratégias dos demais agentes. Verificou-se também que o agente *e-Agent* foi o que apresentou a melhor evolução em termos de pontuação desde a etapa *Qualifying* até a *Finals*.

Capítulo 11

Conclusão

Esta dissertação apresentou um agente para atuar em leilões eletrônicos simultâneos heterogêneos com bens inter-relacionados. Uma vez que o TAC-Classic retrata este cenário, ele foi escolhido como estudo de caso. Embora restrito a um mercado de agência de viagem, as soluções propostas e avaliadas dentro de seu ambiente podem ser estendidas a outros domínios. Logo, ele apresenta um ambiente apropriado para investigação, implementação, testes e validação.

Estudou-se o ambiente TAC-Classic e os tipos de bens e leilões que o constituem. Determinou-se as principais decisões a serem tomadas: a determinação dos bens a serem comprados, o valor de seus lances e o momento certo da realização de uma oferta. Devido às particularidades de cada leilão, estas decisões foram tratadas de modo particular para cada um deles.

Após essa etapa, desenvolveu-se um agente. Ele recebeu o nome de *e-Agent*. O agente é composto por módulos que implementam as estratégias utilizadas em cada um dos leilões que constituem o TAC-Classic.

No leilão de vôo, devido à natureza estocástica do processo que gera os seus preços, preferiu-se determinar a tendência destes ao invés de prever o seu valor exato. Portanto, a estratégia do agente *e-Agent* para este leilão consistiu em determinar o melhor momento para se efetuar as compras de vôos. Para isto, realizou-se um estudo sobre o processo estocástico que atualiza os preços deste leilão. Verificou-se a existência de três categorias:

1. Categoria de Leilão de Vôo 1: Preços dos vôos tendem a diminuir no início do jogo e a aumentar depois de um certo período de tempo;
2. Categoria de Leilão de Vôo 2: Preços dos vôos tendem sempre a diminuir;
3. Categoria de Leilão de Vôo 3: Preços dos vôos tendem sempre a aumentar.

Com base nestas categorias, desenvolveu-se um método para associar as cotações de preços recebidas

de um determinado leilão de voo a uma delas. Dependendo da categoria em questão o agente *e-Agent* decide o momento de se realizar as compras.

Por sua vez, para o leilão de hotel observou-se a necessidade de um preditor. Optou-se por realizar a previsão no minuto inicial tendo como base a média aritmética dos lances realizados no primeiro minuto do jogo dos últimos seis jogos. A partir do segundo minuto, utilizou-se um sistema baseado em regras *fuzzy* do tipo Takagi-Sugeno proposto em (He and Jennings, 2004) e otimizado via um algoritmo genético. Através de experimentos envolvendo dados de treinamentos obtidos da competição oficial do TAC-Classic 2004, verificou-se que o sistema otimizado foi capaz de realizar um maior número de previsões válidas com um Erro Quadrático Médio menor quando comparado com o sistema original.

Já no leilão de ingresso de lazer, a estratégia implementada no agente *e-Agent* foi a de vender ingressos por um valor mínimo de \$90. Em relação à compra de ingressos, o seu valor é função do bônus oferecido pelo cliente interessado no ingresso. Embora este comportamento tenha levado o *e-Agent* a desperdiçar oportunidades de negociação por ele não relaxar suas restrições, estas medidas tiveram o objetivo de fazer com que o benefício obtido com a negociação fosse maior para ele do que para seus adversários.

Por fim, para determinar os voos e quartos de hotel a serem comprados, bem como indicar pacotes de viagem individuais para cada cliente, utilizou-se um modelo de programação linear inteira. O modelo utilizado se baseia em (He and Jennings, 2004), sendo este, por sua vez, uma melhoria do modelo sugerido em (Stone et al., 2002). Este modelo se mostrou importante por orientar o agente sobre os bens a serem comprados, evitando desse modo compras desnecessárias.

Avaliou-se o desempenho do *e-Agent* durante a competição oficial TAC-Classic 2005. Ao longo da competição ele apresentou melhoras. Elas ocorreram devido a ajustes, como por exemplo, a previsão de preços para o leilão de hotel no primeiro minuto de jogo e a compra e venda de ingressos durante todo o jogo. Ao longo da competição o agente tornou-se mais estável com as várias alterações e melhorias implementadas, uma vez que, independentemente da distribuição inicial das preferências dos clientes e dos seus oponentes, na maioria dos jogos ele atingiu pontuações em um mesmo intervalo (3000 a 4000). O agente foi muito prejudicado em duas etapas da competição devido a problemas de queda de energia e de conexão com a Internet. Mesmo assim, ele foi um dos agentes que mais apresentou melhoras dos resultados durante a competição, terminando a competição em 7º lugar.

Ao fim deste trabalho, verificou-se a importância da plataforma TAC-Classic. Além de reunir pesquisadores interessados em um mesmo problema, o que vem a tornar mais fácil o compartilhamento e a comparação de resultados, esta plataforma apresenta dificuldades próximas àquelas encontradas na prática em leilões eletrônicos. Assim como o agente *e-Agent* foi prejudicado durante a competição devido a problemas de conexão com a Internet e de queda de energia, um agente ao ser utilizado fora

do âmbito acadêmico também poderá enfrentar estes mesmos problemas.

Apesar da experiência e maturidade adquiridas durante a realização deste trabalho, observou-se que alguns itens ainda devem ser considerados com o intuito de aprimorar o agente. Entre eles sugerimos como os de maior potencial para um desenvolvimento futuro:

1. Desenvolver métodos de aprendizagem para adaptação do comportamento do agente conforme características do leilão e comportamento de seus adversários;
2. Realizar a previsão dos lances de hotel, considerando a quantidade desejada de quartos a se comprar, de modo que essa quantidade interfira no valor da previsão;
3. Desenvolver métodos para análise do risco de não se obter os quartos de hotel;
4. Criar heurísticas para avaliar o resultado do alocador, verificando se realmente vale a pena comprar tudo o que ele sugerir. Por exemplo, caso ele sugira que se compre demasiadamente diárias de hotel em um mesmo dia e tipo de hotel, verificar se não é possível diminuir essa demanda;
5. Desenvolver estratégias para o leilão de ingressos de lazer que permitam ao agente determinar intervalos no qual ele possa relaxar o valor de suas ofertas sem que com isso ele propicie maior benefício para seus adversários;
6. Implementação de um alocador que determine a quantidade de ingressos de lazer a ser adquirida;

Referências Bibliográficas

- Mai Akasaki, Fuminori Kimura, Eri Mizuochi, Hiroya Oda, Takashi Okada, Kenichi Asai, and Motoyasu Nagata. Urgent transaction processing for electronic commerce. *Systems, Man, and Cybernetics*, 2:622–627, Outubro 1999.
- Patricia Anthony and Nicholas R. Jennings. Evolving bidding strategies for multiple auctions. In *Proceedings of 15th European Conference Artificial Intelligence*, pages 178–182, 2002.
- Raghu Arunachalam and Norman M. Sadeh. The supply chain trading agent competition. *Electronic Commerce Research and Applications*, 4(1):63–81, 2005.
- Thomas Bäck, David B. Fogel, and Zbigniew Michalewicz. *Evolutionary Computation 1: Basic Algorithms and Operators*. Institute of Physics Publishing, Bristol, UK, 2000.
- Andrew Bye, Chris Preist, and Nicholas R. Jennings. Decision procedures for multiple auctions. In *First International Joint Conference Autonomous Agents Multi-Agent Systems*, pages 613–620, New York, NY, USA, 2002. ACM Press.
- Rui Cao and YueTing Chai. The study of the electronic commerce business models. In *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, volume 5, pages 4089–4094, The Hague, Netherlands, 2004. IEEE Computer Society.
- Paulo Castro. Uma infra-estrutura para agentes arrematantes em múltiplos leilões simultâneos. Tese de mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Agosto 2003.
- Shih-Fen Cheng, Evan Leung, Kevin M. Lochner, Kevin O'Malley, Daniel M. Reeves, Julian L. Schvartzman, and Michael P. Wellman. Walverine: A walrasian trading agent. *Decision Support Systems*, 39(2):169–184, Abril 2005.
- Oscar Cordón, Fernando Gomide, Francisco Herrera, Frank Hoffmann, and Luis Magdalena. Ten years of genetic fuzzy systems: Current framework and new trends. *Fuzzy Sets and Systems*, 141(1):5–31, Janeiro 2004.

- Rajarshi Das, James E. Hanson, Jeffrey O. Kephart, and Gerald Tesauro. Agent-human interactions in the continuous double auction. In *17th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, volume 2, pages 1169–1187, Seattle, Washington, USA, Agosto 2001. Morgan Kaufmann.
- Myriam Delgado. Projeto automático de sistemas nebulosos: Uma abordagem co-evolutiva. Tese de doutorado, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, UNICAMP, Fevereiro 2000.
- Myriam Delgado, Fernando Von Zuben, and Fernando Gomide. Hierarchical genetic fuzzy systems. *Information Sciences*, 136(1-4):29–52, Agosto 2001.
- Li Ding, Tim Finin, Yongmei Shi, Youyong Zou, Zhongli Ding, and Rong Pan. Strategies and heuristics used by the umbtac agent in the third trading agent competition. In *Workshop on Trading Agent Design and Analysis, held in conjunction with the Eighteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, Agosto 2003.
- Joakim Eriksson and Sverker Janson. The trading agent competition - tac 2002. *ERCIM News*, 51, Outubro 2002.
- Maria Fasli and Nikolaos Poursanidis. Thalix: An autonomous trading agent. Página na internet, último acesso em 12/2005. <http://www.essex.ac.uk/ccfea/Seminarpapers/past/Fasli.pdf>.
- Cynthia Gonzaga and Fernando Gomide. Um agente para leilões eletrônicos simultâneos heterogêneos com bens inter-relacionados. In *XVI Congresso Brasileiro de Automática*, 2006.
- Amy R. Greenwald and Peter Stone. Autonomous bidding agents in the trading agent competition. *IEEE Internet Computing*, 5(2):52–60, Março/Abril 2001.
- Robert Guttman, Alexandros Moukas, and Pattie Maes. Agent-mediated electronic commerce: A survey. *Knowledge Engineering Review*, 13(2):147–159, Julho 1998.
- Barbara Hayes-Roth, Micheal Hewett, Richard Washington, Rattikorn Hewett, and Adam Seiver. Distributing intelligence within an individual. In Les Gasser and Michael N. Huhns, editors, *Distributed artificial intelligence*, volume 2 of *Research Notes in Artificial Intelligence*, pages 385–412. Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1989.
- Minghua He. Designing bidding strategies for autonomous trading agents. Ph.d thesis, School of Electronics and Computer Science, University of Southampton, Setembro 2004.
- Minghua He and Nicholas R. Jennings. Southamptontac: An adaptive autonomous trading agent. *ACM Transactions on Internet Technology*, 3(3):218–235, Agosto 2003.

- Minghua He and Nicholas R. Jennings. Designing a successful trading agent: a fuzzy set approach. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 12(3):389–410, Junho 2004.
- Minghua He, Nicholas R. Jennings, and Ho-Fung Leung. On agent-mediated electronic commerce. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 15(4):985–1003, Julho/Agosto 2003.
- John H. Holland. *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control and Artificial Intelligence*. MIT Press, Cambridge, MA, USA, 1992.
- Jun Huang, Nicholas R. Jennings, and John Fox. An agent-based approach to health care management. *Applied Artificial Intelligence: An International Journal*, 9(4):401–420, 1995.
- E. M. Iyoda. Inteligência computacional no projeto automático de redes neurais híbridas e redes neurofuzzy heterogêneas. Tese de mestrado, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, UNICAMP, Janeiro 2000.
- Nicholas R. Jennings, Jose Manuel Corera, and Inaki Laresgoiti. Developing industrial multi-agent systems. In *First International Conference on Multi-Agent Systems*, pages 423–430. MIT Press, Junho 1995.
- Nicholas R. Jennings, P. Faratin, A. R. Lomuscio, S. Parsons, C. Sierra, and Michael Wooldridge. Automated negotiation: Prospects, methods and challenges. *International Journal of Group Decision and Negotiation*, 10(2):199–215, 2001.
- Nicholas R. Jennings, Peyman Faratin, M. J. Johnson, Timothy J. Norman, P. O'Brien, and M. E. Wiegand. Agent-based business process management. *International Journal Cooperative Information Systems*, 5(23):105–130, 1996.
- Nicholas R. Jennings and Michael Wooldridge. Applications of intelligent agents. In Nicholas R. Jennings and Michael Wooldridge, editors, *Agent Technology: Foundations, Applications, and Markets*, pages 3–28. Springer-Verlag New York, Inc., 1998.
- Christopher Kiekintveld, Yevgeiny Vorobeychik, and Michael P. Wellman. An analysis of the 2004 tac supply chain management tournament. *IJCAI-05 Workshop on Trading Agent Design and Analysis*, 2005.
- Ryszard Kowalczyk, Bogdan Franczyk, Andreas Speck, Peter Braun II, Jan Eismann, and Wilhelm Rossak. Intermarket - towards intelligent mobile agent e-marketplaces. In *Ninth Annual IEEE International Conference and Workshop on the Engineering of Computer-Based Systems*, pages 268–275, Washington, DC, USA, Abril 2002. IEEE Computer Society.

- Vijay Krishna. *Auction Theory*. Academic Press, San Diego, CA, USA, 2002.
- Jan Eric Larsson and Barbara Hayes-Roth. Guardian: An intelligent autonomous agent for medical monitoring and diagnosis. *IEEE Intelligent Systems and Their Applications*, 13(1):58–64, Janeiro/Fevereiro 1998.
- Alessio R. Lomuscio, Michael Wooldridge, and Nicholas R. Jennings. A classification scheme for negotiation in electronic commerce. *International Journal of Group Decision and Negotiation*, 12(1):31–56, Janeiro 2003.
- Pattie Maes. Agents that reduce work and information overload. *Communications of the ACM*, 37(7): 30–40, Julho 1994.
- Anderson Vinícius Medeiros. Modelagem de sistemas dinâmicos não lineares utilizando sistemas fuzzy, algoritmos genéticos e funções de base ortonormal. Tese de mestrado, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, UNICAMP, Janeiro 2006.
- Taciana Melcop L. Melo. Estratégia multi-agente para leilões simultâneos de bens relacionados. Tese de mestrado, Departamento de Informática, PUC, Março 2003.
- Toulis Panagiotis, Dionisis Kehagias, and Pericles A. Mitkas. Tac classic 2005: Agent mercador. Página na internet, último acesso em 12/2005. <http://danae.ee.auth.gr/mertacorweb/pubs/posters/MertacorClassicPoster.pdf>.
- H. Van Dyke Parunak. Manufacturing experience with the contract net. In M.N. Huhns, editor, *Distributed Artificial Intelligence*, pages 285–310. Morgan Kaufmann Publishers, Inc., 1987.
- Witold Pedrycz and Fernando A. C. Gomide. *An Introduction to Fuzzy Sets: Analysis and Design*. MIT Press, Cambridge, MA, USA, 1998.
- Chris Preist, Claudio Bartolini, and Ivan Phillips. Algorithm design for agents which participate in multiple simultaneous auctions. In *Agent-Mediated Electronic Commerce III, Current Issues in Agent-Based Electronic Commerce Systems*, pages 139–154. Springer-Verlag, 2001a.
- Chris Preist, Andrew Bye, and Claudio Bartolini. Economic dynamics of agents in multiple auctions. In *Proceedings of the Fifth International Conference on Autonomous Agents*, pages 545–551, New York, NY, USA, 2001b. ACM Press.
- Anand S. Rao and Michael P. Georgeff. Bdi-agents: from theory to practice. In *First International Conference on Multiagent Systems*, pages 312–319. MIT Press, 1995.

- Solange Oliveira Rezende. *Sistemas Inteligentes: Fundamentos e Aplicações*. Manole, Barueri, SP, Brasil, 2003.
- Stuart Russel and Peter Norvig. *Inteligência Artificial*. Editora Campus, 2003.
- José Alberto R. P. Sardinha, Ruy Luiz Milidiú, Patrick M. Paranhos, Pedro M. Cunha, and Carlos José Pereira de Lucena. An agent based architecture for highly competitive electronic markets. In *FLAIRS Conference*, pages 326–332, 2005.
- Ian Shaw and Marcelo Simões. *Controle e Modelagem Fuzzy*. Edgard Blücher, São Paulo, SP, 1999.
- Peter Stone and Amy Greenwald. The first international trading agent competition: Autonomous bidding agents. *Electronic Commerce Research*, 5(2):229–265, Abril 2005.
- Peter Stone, Robert E. Schapire, János Csirik, Michael L. Littman, and David A. McAllester. Attac-2001: A learning, autonomous bidding agent. In *AAMAS 02: Revised Papers from the Workshop on Agent Mediated Electronic Commerce on Agent-Mediated Electronic Commerce IV, Designing Mechanisms and Systems*, pages 143–160, London, UK, 2002. Springer-Verlag.
- Lefteri H. Tsoukalas and Robert E. Uhrig. *Fuzzy and Neural Approaches in Engineering*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA, 1996.
- Ioannis A. Vetsikas and Bart Selman. Autonomous trading agent design in the presence of tradeoffs. In *Seventh International Conference on Electronic Commerce*, pages 293–299, New York, NY, USA, 2005. ACM Press.
- Peter Wavish and Michael Graham. A situated action approach to implementing characters in computer games. *International Journal of Applied Artificial Intelligence*, 10(1):53–74, 1996.
- Gerhard Weiss. *Multiagent Systems - A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*. MIT Press, Cambridge, MA, USA, 1999.
- Michael P. Wellman, Amy Greenwald, Peter Stone, and Peter R. Wurman. The 2001 trading agent competition. In *Eighteenth National Conference on Artificial Intelligence*, pages 935–941, Menlo Park, CA, USA, 2002. American Association for Artificial Intelligence.
- Michael P. Wellman, Peter R. Wurman, Kevin O'Malley, Roshan Bangera, Shou de Lin, Daniel M. Reeves, and William E. Walsh. Designing the market game for a trading agent competition. *IEEE Internet Computing*, 5(2):43–51, Março/Abril 2001.

Michael Wooldridge. *An Introduction to MultiAgent Systems*. John Wiley & Sons, New York, NY, USA, 2002.

Michael Wooldridge and Nicholas R. Jennings. Developing multiagent systems: the gaia methodology. *Intelligent Agents: Theory and Practice*, 10(3):115–152, 1995.

Peter R. Wurman. Guest editor's introduction: Dynamic pricing in the virtual marketplace. *IEEE Internet Computing*, 5(2):36–42, Março 2001.

Lotfi A. Zadeh. Fuzzy sets. *Information Control*, 8(3):338–353, 1965.

Franco Zambonelli, Nicholas R. Jennings, and Michael Wooldridge. Developing multiagent systems: the gaia methodology. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*, 12(3): 317–370, Julho 2003.

Apêndice A

Resultados do Sistema Genético-*Fuzzy*

Os conseqüentes das regras obtidos no sistema *SFO* podem ser vistos na tabela A.1

	Ambos Abertos			Acabou de Terminar			Terminou há Tempos		
	<i>n</i>	<i>s</i>	<i>c</i>	<i>n</i>	<i>s</i>	<i>c</i>	<i>n</i>	<i>s</i>	<i>c</i>
<i>pequeno</i>	20	26	32	21	40	36	15	50	53
<i>médio</i>	40	45	75	36	45	80	24	64	101
<i>grande</i>	43	67	82	37	70	101	38	77	115
<i>muitoGrande</i>	46	71	87	44	84	123	41	91	120

Tabela A.1: Os conseqüentes das regras do sistema *SFO*.

As funções de pertinências obtidas para o sistema *SFO* podem ser vistas nas Figuras A.1 à A.18

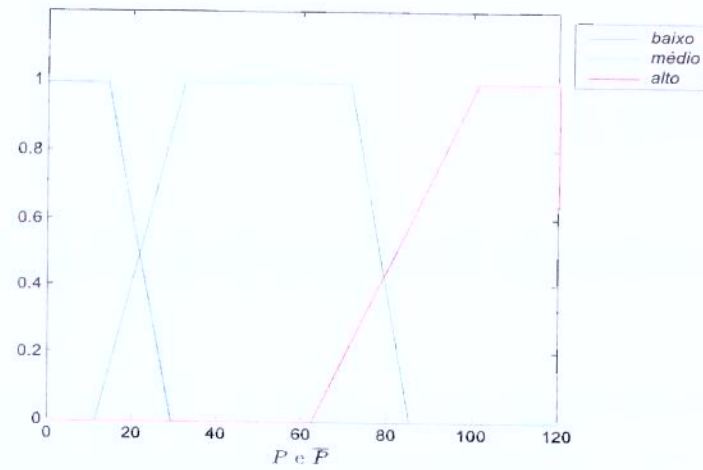


Figura A.1: Funções de pertinência das variáveis linguísticas P e $\bar{P}$ no sistema SFO para a base de regras AA, ambiente não-competitivo.

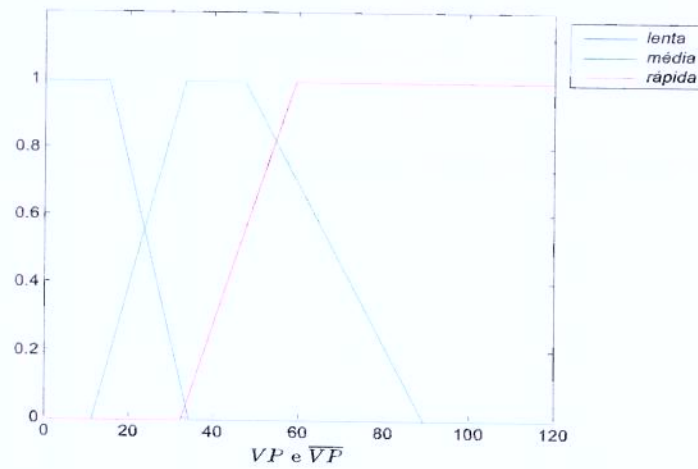


Figura A.2: Funções de pertinência das variáveis linguísticas VP e $\bar{VP}$ no sistema SFO para a base de regras AA, Ambiente Não-Competitivo.

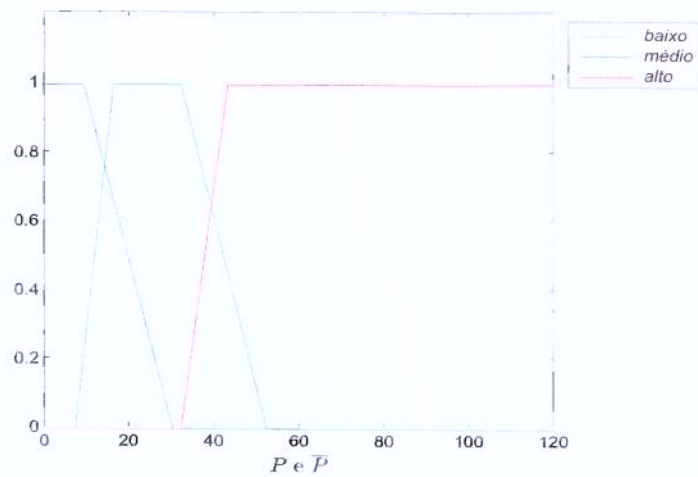


Figura A.3: Funções de pertinência das variáveis linguísticas P e $\bar{P}$ no sistema SFO para a base de regras AA, ambiente semi-competitivo.

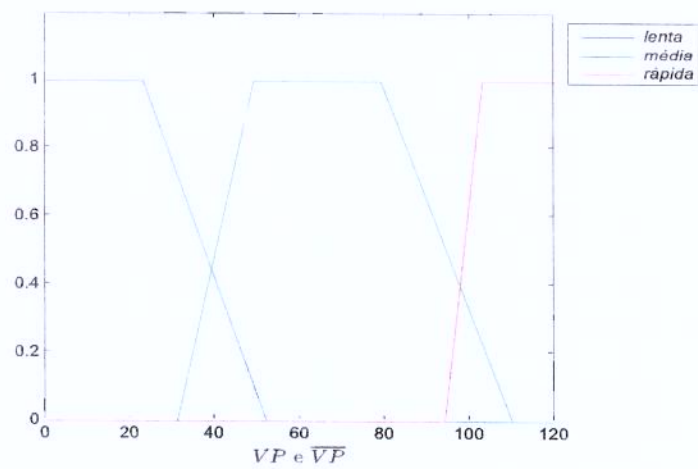


Figura A.4: Funções de pertinência das variáveis linguísticas VP e $\bar{VP}$ no sistema SFO para a base de regras AA, ambiente semi-competitivo.

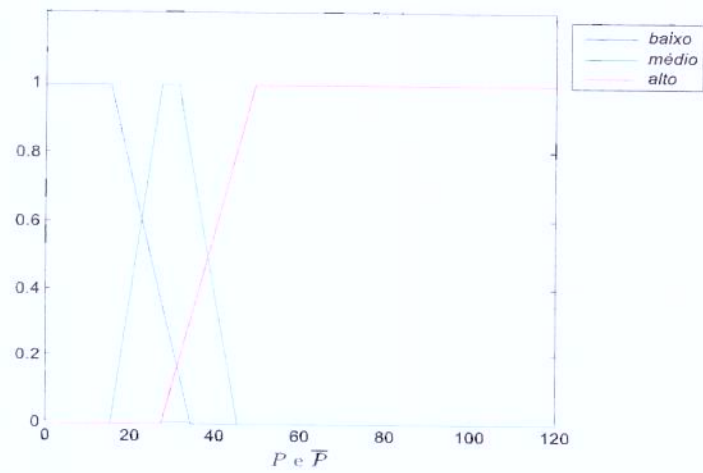


Figura A.5: Funções de pertinência das variáveis linguísticas P e $\bar{P}$ no sistema SFO para a base de regras AA, ambiente competitivo.

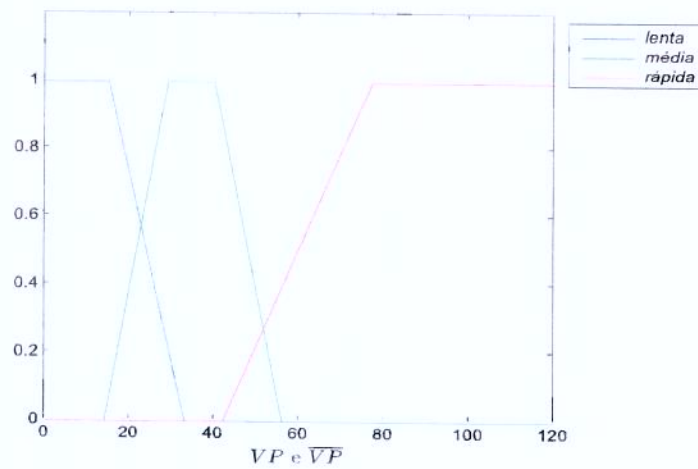


Figura A.6: Funções de pertinência das variáveis linguísticas VP e $\bar{VP}$ no sistema SFO para a base de regras AA, ambiente competitivo.

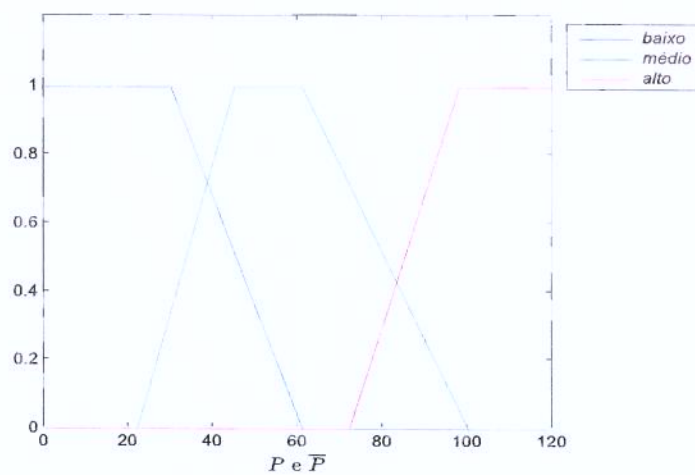


Figura A.7: Funções de pertinência das variáveis linguísticas P e $\bar{P}$ no sistema SFO para a base de regras AT, ambiente não-competitivo.

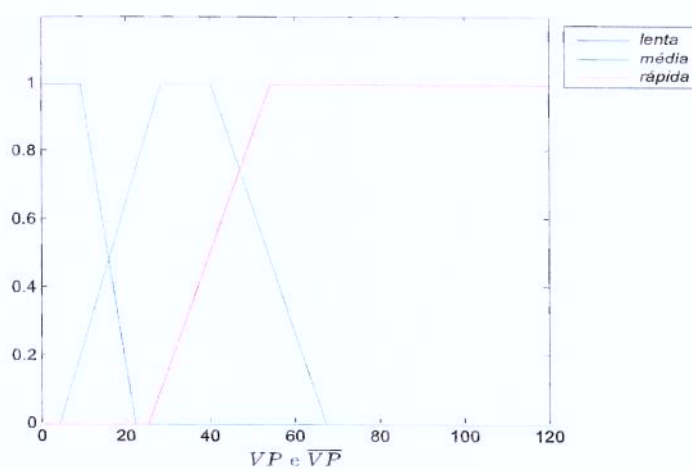


Figura A.8: Funções de pertinência das variáveis linguísticas VP e $\bar{VP}$ no sistema SFO para a base de regras AT, ambiente não-competitivo.

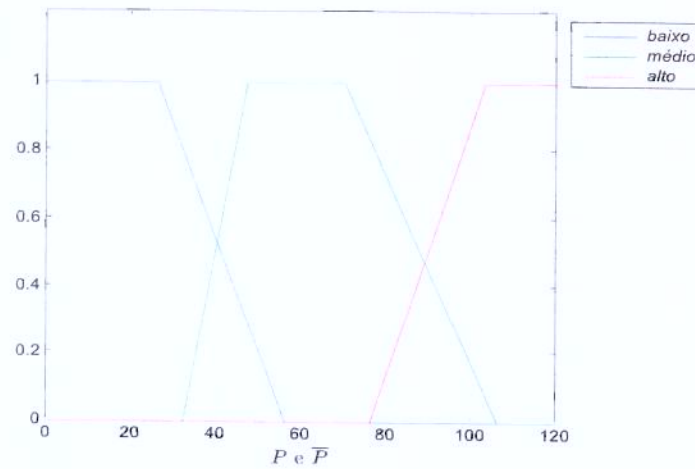


Figura A.9: Funções de pertinência das variáveis linguísticas P e $\bar{P}$ no sistema SFO para a base de regras AT, ambiente semi-competitivo.

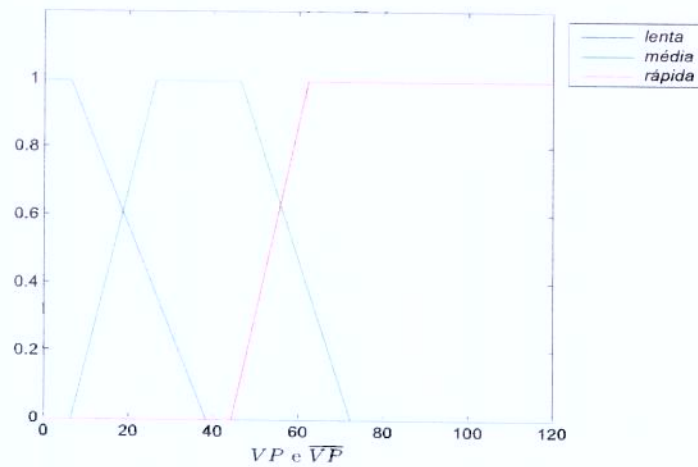


Figura A.10: Funções de pertinência das variáveis linguísticas VP e $\bar{VP}$ no sistema SFO para a base de regras AT, ambiente semi-competitivo.

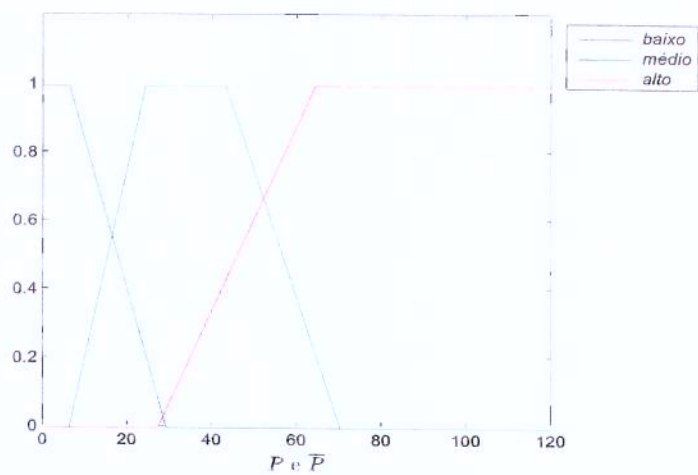


Figura A.11: Funções de pertinência das variáveis linguísticas P e $\bar{P}$ no sistema SFO para a base de regras AT, ambiente competitivo.

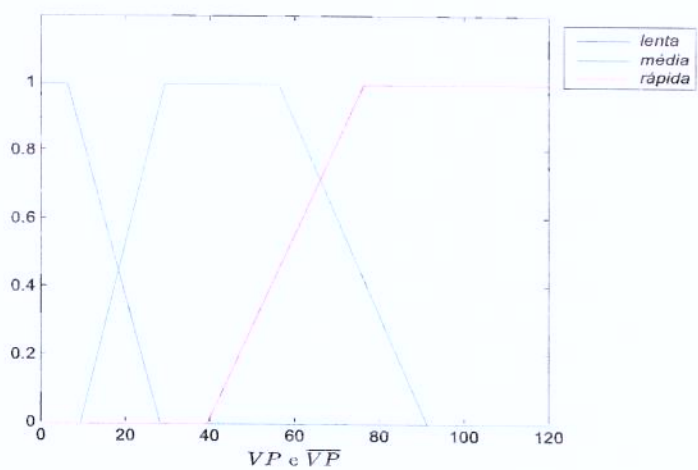


Figura A.12: Funções de pertinência das variáveis linguísticas VP e $\bar{VP}$ no sistema SFO para a base de regras AT, ambiente competitivo.

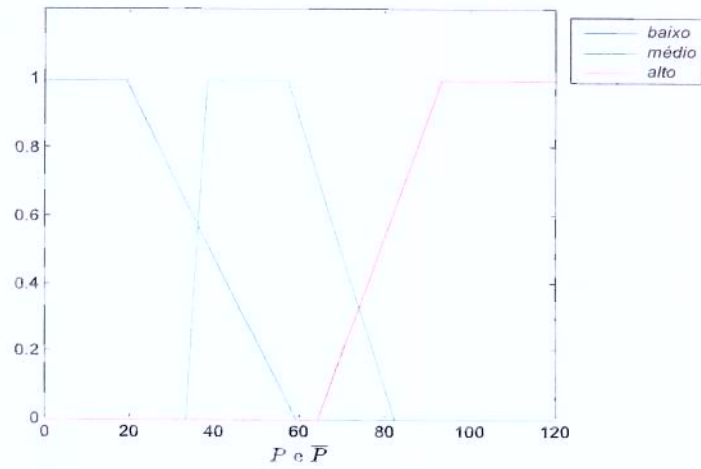


Figura A.13: Funções de pertinência das variáveis linguísticas P e $\bar{P}$ no sistema SFO para a base de regras TTs, ambiente não-competitivo.

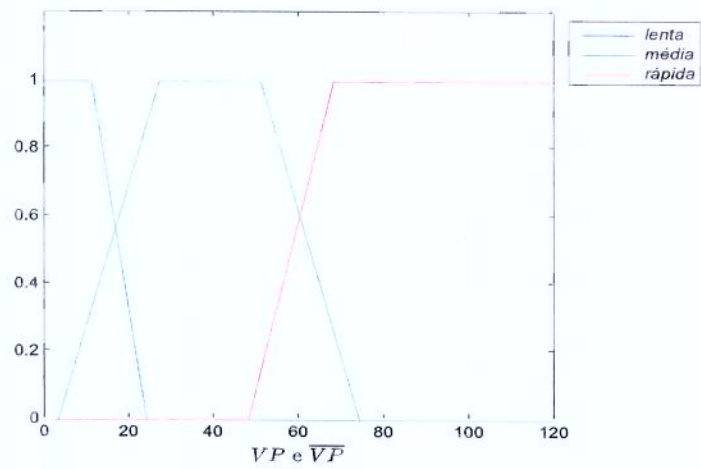


Figura A.14: Funções de pertinência das variáveis linguísticas VP e $\bar{VP}$ no sistema SFO para a base de regras TTs, ambiente não-competitivo.

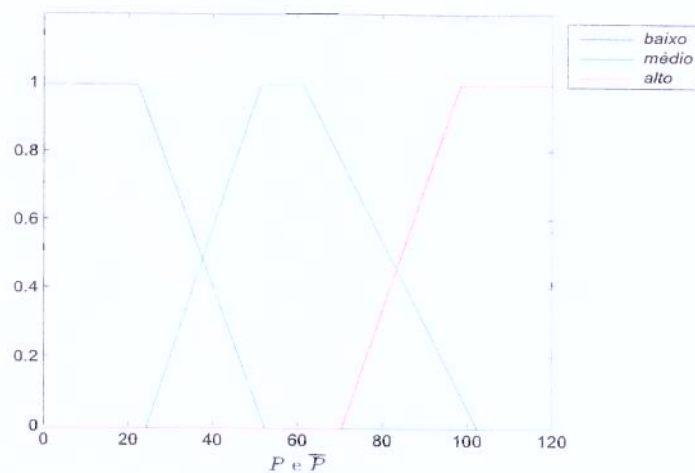


Figura A.15: Funções de pertinência das variáveis linguísticas P e $\bar{P}$ no sistema SFO para a base de regras TTs, ambiente semi-competitivo.

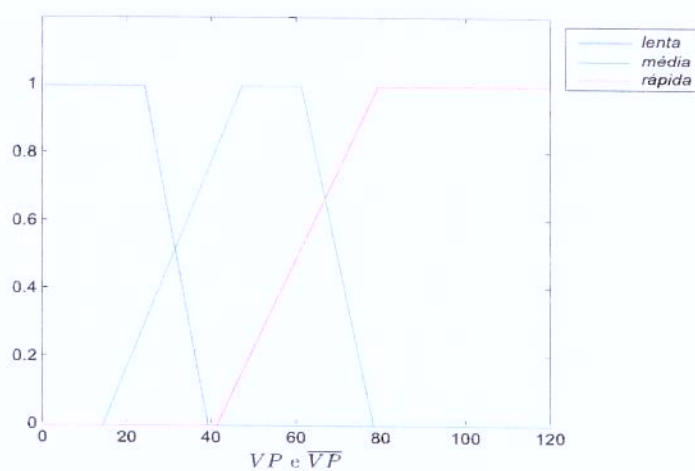


Figura A.16: Funções de pertinência das variáveis linguísticas VP e $\bar{VP}$ no sistema SFO base de regras TTs, ambiente semi-competitivo.

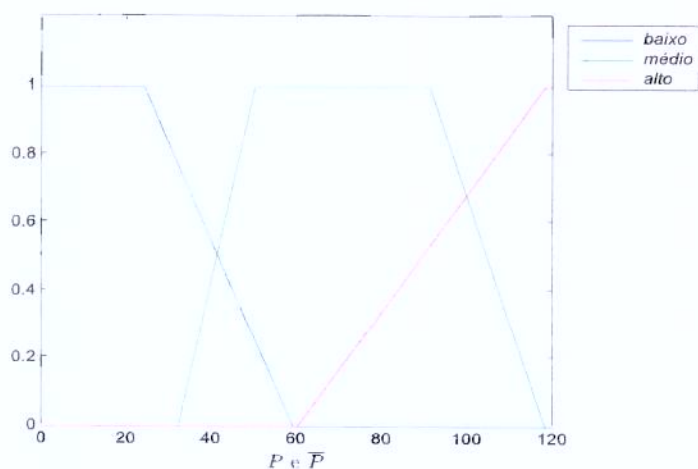


Figura A.17: Funções de pertinência das variáveis linguísticas P e $\bar{P}$ no sistema SFO para a base de regras TTs, ambiente competitivo.

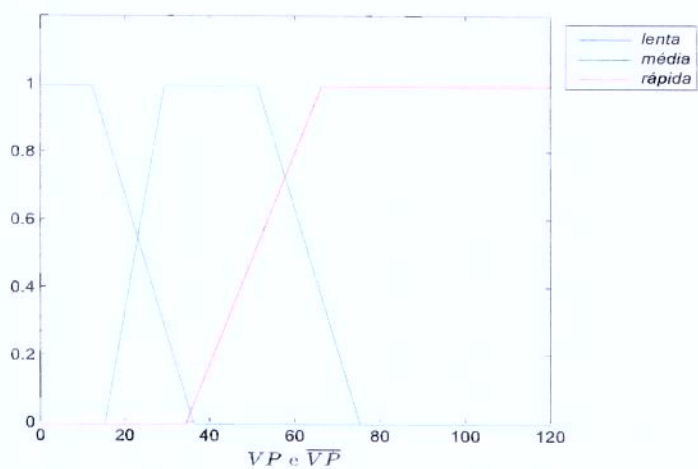


Figura A.18: Funções de pertinência das variáveis linguísticas VP e $\bar{VP}$ no sistema SFO para a base de regras TTs, ambiente competitivo.

Apêndice B

Modelo de Otimização Utilizado pelo Alocador

- Notação

1. Sejam os 20 pacotes de viagem descritos da seguinte maneira: $(ida\ volta\ tipoHotel)$, onde $ida \in \{1, \dots, 4\}$ indica o dia de viagem à Tampa; $volta \in \{2, \dots, 5\}$ indicando o dia de retorno à TACtown; $tipo - Hotel \in \{0, 1\}$ onde 0 representa o hotel SS e 1 representa o hotel TT. Os 20 pacotes de viagem podem ser expressos como: (1 2 1), (1 3 1), (1 4 1), (1 5 1), (2 3 1), (2 4 1), (2 5 1), (3 4 1), (3 5 1), (4 5 1), (1 2 0), (1 3 0), (1 4 0), (1 5 0), (2 3 0), (2 4 0), (2 5 0), (3 4 0), (3 5 0), (4 5 0).
2. Há três tipos de ingressos de lazer para quatro dias. Um ingresso é denotado como $(tipo\ dia)$, onde $tipo \in \{1, 2, 3\}$ e $dia \in \{1, 2, 3, 4\}$. Para cada consumidor, os ingressos podem ser expressos como: (1 1), (1 2), (1 3), (1 4), (2 1), (2 2), (2 3), (2 4), (3 1), (3 2), (3 3), (3 4).

- Variáveis

1. Para cada cliente $i \in \{1, \dots, 8\}$, há 20 variáveis $f_{i,j} \in \{0, 1\}$ onde $j \in \{1, \dots, 20\}$, cada um representando o j -ésimo pacote de viagem. Cliente i é alocado ao pacote j quando $f_{i,j} = 1$. Portanto, existem 160 variáveis para oito clientes.
2. $Comprar[0], \dots, Comprar[3]$ e $Comprar[4], \dots, Comprar[7]$ representam, respectivamente, vôos de ida e de volta a serem comprados. $Comprar[8], \dots, Comprar[11]$ e $Comprar[12], \dots, Comprar[15]$ representam, respectivamente, hotéis TT e hotéis SS a se fazer ofertas. Portanto, existem 16 variáveis para oito clientes.

3. Para cada consumidor $i \in \{1, \dots, 8\}$, há 12 variáveis $e_{i,j} \in \{0, 1\}$ onde $j \in \{1, \dots, 12\}$, cada um representando o j -ésimo ingresso de lazer. Cliente i é alocado ao ingresso de lazer j quando $e_{i,j} = 1$. Portanto, existem 96 variáveis para oito clientes.

• Constantes

1. Sejam $Possui[0], \dots, Possui[3]$; $Possui[4], \dots, Possui[7]$; $Possui[8], \dots, Possui[11]$; $Possui[12], \dots, Possui[15]$ e $Possui[16], \dots, Possui[27]$. Eles representam, respectivamente, os vôos de ida, vôos de volta, quartos de hotel TT, quartos de hotel SS e ingressos de lazer já adquiridos pelo agente.
2. Sejam $QtdCli[0], \dots, QtdCli[3]$ o número de clientes que desejam viajar a Tampa no dia 1, ..., 4, respectivamente.

• Restrições

1. O número de quartos de hotel deve ser inferior à soma do número de quartos que o agente possui e de que ele irá realizar ofertas (oito restrições).

$$\begin{aligned}
 \sum_{i=1}^8 (f_{i,1} + f_{i,2} + f_{i,3} + f_{i,4}) &\leq Possui[8] + Comprar[8] \\
 \sum_{i=1}^8 (f_{i,2} + f_{i,3} + f_{i,4} + f_{i,5} + f_{i,6} + f_{i,7}) &\leq Possui[9] + Comprar[9] \\
 \sum_{i=1}^8 (f_{i,3} + f_{i,4} + f_{i,6} + f_{i,7} + f_{i,8} + f_{i,9}) &\leq Possui[10] + Comprar[10] \\
 \sum_{i=1}^8 (f_{i,4} + f_{i,7} + f_{i,9} + f_{i,10}) &\leq Possui[11] + Comprar[11] \\
 \sum_{i=1}^8 (f_{i,11} + f_{i,12} + f_{i,13} + f_{i,14}) &\leq Possui[12] + Comprar[12] \\
 \sum_{i=1}^8 (f_{i,12} + f_{i,13} + f_{i,14} + f_{i,15} + f_{i,16} + f_{i,17}) &\leq Possui[13] + Comprar[13] \\
 \sum_{i=1}^8 (f_{i,13} + f_{i,14} + f_{i,16} + f_{i,17} + f_{i,18} + f_{i,19}) &\leq Possui[14] + Comprar[14] \\
 \sum_{i=1}^8 (f_{i,14} + f_{i,17} + f_{i,19} + f_{i,20}) &\leq Possui[15] + Comprar[15]
 \end{aligned}$$

2. Para cada cliente $i \in \{1, \dots, 8\}$, os ingressos de lazer devem ser usados entre os dias em que eles permanecem em Tampa (32 restrições).

$$f_{i,1} + f_{i,2} + f_{i,3} + f_{i,4} + f_{i,11} + f_{i,12} + f_{i,13} + f_{i,14} \geq e_{i,1} + e_{i,5} + e_{i,9}$$

$$\begin{aligned}
f_{i,2} + \dots + f_{i,7} + f_{i,12} + \dots + f_{i,17} &\geq e_{i,2} + e_{i,6} + e_{i,10} \\
f_{i,3} + f_{i,4} + f_{i,6} + \dots + f_{i,9} + f_{i,13} + f_{i,14} + f_{i,16} + \dots + f_{i,19} &\geq e_{i,3} + e_{i,7} + e_{i,11} \\
f_{i,4} + f_{i,7} + f_{i,9} + f_{i,10} + f_{i,14} + f_{i,17} + f_{i,19} + f_{i,20} &\geq e_{i,4} + e_{i,8} + e_{i,12}
\end{aligned}$$

3. Para cada cliente $i \in \{1, \dots, 8\}$ existe apenas um pacote de viagem válido (8 restrições).

$$\sum_{j=1}^{20} f_{i,j} \leq 1$$

4. Para cada ingresso de lazer $j \in \{1, \dots, 12\}$ o número de ingressos de lazer utilizados deve ser inferior ao número que o agente de viagem possui (12 restrições).

$$\sum_{i=1}^8 e_{i,j} \leq Possui[j + 15]$$

5. Os vôos que podem ser utilizados devem ser menor do que a soma do número de vôos que o agente possui e dos vôos que o agente irá comprar (oito restrições).

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^8 (f_{i,1} + f_{i,2} + f_{i,3} + f_{i,4} + f_{i,11} + f_{i,12} + f_{i,13} + f_{i,14}) &\leq Possui[0] + Comprar[0] \\
\sum_{i=1}^8 (f_{i,5} + f_{i,6} + f_{i,7} + f_{i,15} + f_{i,16} + f_{i,17}) &\leq Possui[1] + Comprar[1] \\
\sum_{i=1}^8 (f_{i,8} + f_{i,9} + f_{i,18} + f_{i,19}) &\leq Possui[2] + Comprar[2] \\
\sum_{i=1}^8 (f_{i,10} + f_{i,20}) &\leq Possui[3] + Comprar[3] \\
\sum_{i=1}^8 (f_{i,1} + f_{i,11}) &\leq Possui[4] + Comprar[4] \\
\sum_{i=1}^8 (f_{i,2} + f_{i,5} + f_{i,12} + f_{i,15}) &\leq Possui[5] + Comprar[5] \\
\sum_{i=1}^8 (f_{i,3} + f_{i,6} + f_{i,8} + f_{i,13} + f_{i,16} + f_{i,18}) &\leq Possui[6] + Comprar[6] \\
\sum_{i=1}^8 (f_{i,4} + f_{i,7} + f_{i,9} + f_{i,10} + f_{i,14} + f_{i,17} + f_{i,19} + f_{i,20}) &\leq Possui[7] + Comprar[7]
\end{aligned}$$

6. Para cada cliente $i \in \{1, \dots, 8\}$, cada tipo de ingresso de lazer deve ser usado apenas uma vez (24 restrições).

$$\sum_{j=1}^4 e_{i,j} \leq 1$$

$$\sum_{j=5}^8 e_{i,j} \leq 1$$

$$\sum_{j=9}^{12} e_{i,j} \leq 1$$

7. Para $i \in \{0, \dots, 3\}$, o número de vôos de ida a serem comprados para cada um dos dias deve ser menor ou igual ao número de clientes que deseja viajar neste dia (4 restrições).

$$Comprar[i] \leq QtdCli[i]$$

- Função Objetivo

A função objetivo é maximizar a seguinte fórmula:

$$\sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^{20} (f_{i,j} u_{i,j}) + \sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^{12} (e_{i,j} E_{i,j}) - \sum_{i=0}^{15} (Comprar[i] Valor[i])$$

onde $u_{i,j}$ é a utilidade se o cliente i escolhe o pacote de viagem j ; $E_{i,j}$ é o valor da preferência do cliente i desfrutar o ingresso de lazer j ; e $Valor[i]$ é o valor do preço de cotação dos leilões de vôo ou o preço previsto dos leilões de hotel.