



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia de Sistemas de Potência e Automação



Estratégias de Comercialização de Energia para Negociação Bilateral em Mercados de Energia Eléctrica Multi-Agente

JOÃO FILIPE SANTOS GASPAR
(Licenciado em Engenharia Electrotécnica)

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Electrotécnica na Área de Especialização de Energia

Orientadores:

Professor Jorge Alberto Mendes de Sousa (ISEL)
Doutor Fernando Jorge Ferreira Lopes (LNEG)

Júri:

Presidente: Professor Constantino Vital Sopa Soares (ISEL)

Vogais:

Professor Jorge Alberto Mendes de Sousa (ISEL)
Doutor Fernando Jorge Ferreira Lopes (LNEG)
Professor Paulo Manuel Trigo Cândido da Silva (ISEL)

Novembro de 2012

“So many books, so little time.”

Frank Zappa

Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador, Professor Doutor Jorge de Sousa, por todo o apoio e disponibilidade com que acompanhou este trabalho.

Ao meu co-orientador, Professor Doutor Fernando Lopes, pela total disponibilidade ao longo desta dissertação, por todo o apoio, colaboração, e valiosos contributos técnicos e práticos.

Ao Engenheiro Eduardo Eusébio agradeço a sua disposição nos períodos iniciais deste trabalho, que me possibilitou um aumento de conhecimentos na área das entidades de mercado.

Aos meus colegas Cristina Ilco e Hugo Lopes, que se encontravam na mesma altura em processo de desenvolvimento do seu Mestrado, um agradecimento especial pela troca de ideias e pela partilha de dúvidas.

Ao Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL), mais propriamente à Área Departamental de Engenharia de Sistemas de Potência e Automação (ADESPA) pela formação, pela experiência e pelo conhecimento que me conferiu.

Ao Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), mais propriamente à Unidade de Modelação e Optimização de Sistemas Energéticos (UMOSE) por me terem recebido e disponibilizado as suas instalações para realizar esta dissertação de mestrado.

Agradeço a todos os meus amigos pelo apoio que directa ou indirectamente me deram no decorrer deste trabalho.

À minha família um agradecimento muito especial. Aos meus Pais, a quem devo tudo o que sou e que tenho hoje. À minha mãe, pela sua paciência para aturar as minhas manias. Ao meu pai, que nunca mais esquecerei. Ao meu padrinho, por ser mais do que um pai para mim. Obrigado por tudo.

Resumo

As recentes e crescentes modificações no sector eléctrico, tanto nacional como mundial, tornam actualmente os mercados de electricidade um caso de estudo singular e interessante. De facto, o desenvolvimento de ferramentas de análise que permitem avaliar a evolução dos comportamentos que estes mercados adoptam face à dinâmica das suas constantes transformações é, à partida, uma mais valia para as suas principais entidades.

Muitas vezes os negociadores deste sector ficam satisfeitos com o resultado final. Contudo, se investigarmos mais minuciosamente, dinheiro e recursos são desperdiçados e potenciais ganhos permanecem por descobrir. Uma negociação automática, que utilize agentes computacionais autónomos, promete um elevado nível de eficiência e acordos de maior qualidade.

Muitos modelos de mercado actuais são simulados através de ferramentas computacionais, algumas das quais baseadas em tecnologia multi-agente. Esta dissertação apresenta um simulador que permite ajudar a resolver vários problemas inerentes à contratação bilateral de energia. O simulador envolve dois agentes do mercado de retalho, um comprador e um vendedor de energia eléctrica, e suporta a negociação bilateral multidimensional.

Cada agente tem no seu portefólio um conjunto de opções que modelam o seu comportamento individual. A essas opções dá-se o nome de estratégias de negociação. O simulador é composto por estratégias de concessão e imitativas. As estratégias de concessão ditam a velocidade de cedência que cada agente terá, enquanto que as estratégias imitativas têm em conta o comportamento passado do oponente, antes da formulação de uma nova oferta.

A validação experimental do simulador foi efectuada através da realização de uma experiência computacional. O método experimental consistiu na experimentação controlada. A experiência teve como principal objectivo validar as estratégias através da verificação, em computador, de um conjunto de hipóteses formuladas através de diversas observações e conclusões da negociação real. Os resultados confirmaram as hipóteses, permitindo concluir que a estratégia de concessão baseada no volume de energia conduz a um melhor benefício para ambos os negociadores, enquanto que a estratégia de concessão baseada na prioridade dos itens conduz à troca de um maior número de propostas negociais.

Palavras-Chave

Mercado de electricidade liberalizado, Sistemas multi-agente, Contratação bilateral de energia, Estratégias de negociação, Experimentação controlada.

Abstract

The recent and growing changes in the electricity sector, both national and worldwide, make today's electricity markets a unique and very interesting topic of research and development. In fact, the development of analytical tools to assess the behaviours that these markets exhibit given their constant dynamics is, at the outset, an asset to their main participants.

Typically, market negotiators are satisfied with the end result. However, a more thoroughly investigation reveals that money and resources are wasted and potential gains remain undiscovered. Automatic negotiation using autonomous agents promises a high level of efficiency and faster agreements.

At present, several market models are simulated by computational tools, some of which are based on multi-agent technology. This thesis presents a trading simulator that helps solving several problems inherent to bilateral contracts of energy. The simulator involves two agents operating on the retail market, a buyer and a seller of electricity, and supports two-party multi-issue negotiation.

Each agent has in its portfolio a range of options that define its individual behaviour. These options are called trading or negotiation strategies. The simulator includes concession and imitative strategies. Concession strategies model the concession rate of each agent and imitative strategies take into account the opponent's past behaviour before submitting new offers.

The experimental validation of the simulator was performed by conducting an experiment. The experimental method consisted of controlled experimentation. The experience aimed at validating the strategies by confirming a set of hypotheses based on several practical observations and real life conclusions. The results confirmed the hypothesis, allowing to conclude that the energy dependent concession making strategies lead to better benefits for both negotiators and the low-priority concession making strategies lead to a larger number of negotiating proposals.

Keywords

Liberalized electricity market, Multi-agent systems, Bilateral contracts of energy, Negotiation strategies, Controlled experimentation.

Índice de Conteúdos

Índice de Conteúdos	i
Índice de Figuras	v
Índice de Tabelas	vii
Índice de Acrónimos	ix
Nomenclatura	xiii
Glossário	xvii
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento	3
1.2 Motivações	4
1.3 Proposta de Trabalho	5
1.4 Contribuições	6
1.5 Organização	7
2 Mercados de Energia Eléctrica	9
2.1 Introdução Histórica	11
2.1.1 Reestruturação do Sector Mundial de Energia Eléctrica	11
2.1.1.1 Mercado Grossista e Retalhista	15
2.2 Mercado Ibérico de Energia Eléctrica	18
2.3 Modelos de Mercado	20
2.3.1 Mercado Regulado em Bolsa (<i>Pool</i>) – Mercado Diário	20
2.3.2 Mercado Intradiário	22
2.3.3 Mercado a Prazo	22
2.3.4 Contratos Bilaterais	23
2.3.5 Modelo Misto	27
2.4 Outros Participantes do Mercado Eléctrico	28
2.5 Conclusão	31

3	Agentes Autónomos e Sistemas Multi-Agente	33
3.1	Introdução	35
3.2	Agentes Autónomos	37
3.2.1	Tipologia de Agentes	40
3.2.1.1	Agentes Deliberativos	41
	Agentes BDI	42
3.2.1.2	Agentes Reactivos	43
3.2.1.3	Agentes Híbridos	44
3.3	Sistemas Multi-Agente	45
3.3.1	O Problema de Projecto	46
3.3.2	O Problema de Coordenação	47
3.3.3	Negociação entre Agentes Computacionais Autónomos	48
3.3.4	Comunicação Entre Agentes	49
3.4	Plataformas Computacionais para Sistemas Multi-Agente	51
3.4.1	<i>Java Agent DEvelopment Framework</i>	51
3.4.2	JATLite	52
3.4.3	OAA	52
3.4.4	Repast	53
3.4.5	ZEUS	54
3.5	Principais Simuladores Multi-Agente de Mercados de Electricidade	55
3.5.1	EMCAS	55
3.5.2	<i>Multi-Agent System that Simulates Competitive Electricity Markets (MASCEM)</i>	56
3.5.3	NEMSIM	57
3.5.4	PowerACE	58
3.5.5	SEPIA	59
3.5.6	Críticas e Confrontação dos Simuladores	60
3.6	Conclusão	60
4	O Simulador SMEEM e Estratégias para Negociação de Contratos Bilaterais	63
4.1	Introdução	65
4.2	O Simulador SMEEM	66
4.2.1	Interface Gráfica	67
4.2.2	Processo de Negociação: Protocolo de Ofertas Alternadas	68
4.2.2.1	Representação por Diagrama de Estados	69
4.2.2.2	Representação Segundo o Modelo FIPA	71
4.3	Estratégias para Negociação de Contratos Bilaterais	72
4.3.1	Estratégias de Concessão Fixa	75
4.3.2	Estratégias de Concessão Baseadas na Prioridade dos Itens	76
4.3.3	Estratégias de Concessão Baseadas no Volume de Energia	76

4.3.4	Estratégias de Concessão Baseadas no Tempo de Negociação	77
4.3.5	Estratégias Imitativas Baseadas no Comportamento do Opositor	78
4.4	Caso Prático de Estudo	80
4.4.1	Preços de Referência da Energia Eléctrica	80
4.4.2	Períodos Horários	81
4.4.3	Negociação Bilateral no Mercado Retalhista	82
4.4.3.1	Retalhista	82
4.4.3.2	Consumidor	83
4.4.3.3	Estratégias de Negociação	84
4.5	Conclusão	89
5	Validação Experimental: Negociação Bilateral Multidimensional	91
5.1	Introdução	93
5.1.1	Experimentação Controlada	94
5.1.2	Teste de Hipóteses	95
5.2	Hipóteses Experimentais	101
5.3	Método Experimental	102
5.3.1	Parâmetros Experimentais	102
5.3.2	Variável Independente	104
5.3.3	Variáveis Dependentes	104
5.3.4	Ensaio	105
5.4	Resultados Finais e Discussão	106
5.4.1	Benefício do Agente Consumidor	107
5.4.2	Benefício Conjunto	108
5.4.3	Duração do Processo Negocial	109
5.5	Conclusão	109
6	Conclusão	113
6.1	Principais Aspectos e Síntese de Resultados	115
6.2	Trabalho Futuro	116
	Referências Bibliográficas	121
	Anexo A Dados de referência de um caso real existente no MIBEL	A-1
	Anexo B Perfil de carga de um caso real	B-1
	Anexo C Resultados da Experiência Negocial Multidimensional	C-1

Índice de Figuras

2.1	Transição para o regime liberalizado	12
2.2	Organização do sistema eléctrico nacional	15
2.3	Cadeia de valor	16
2.4	Mercado de energia liberalizado	17
2.5	Representação gráfica dos dois tipos de mercado diário	21
2.6	Contratação Bilateral no MIBEL	27
3.1	Interacção Agente \leftrightarrow Ambiente	38
3.2	Inteligência Artificial Distribuída (à esquerda) vs. Sistemas Multi-Agente (à direita) .	39
3.3	Arquitectura Deliberativa	41
3.4	Agente baseado em crenças, objectivos e intenções	43
3.5	Arquitectura Reactiva	44
3.6	Arquitectura Híbrida	45
3.7	Estrutura de negociação automatizada	49
3.8	Posição da comunicação entre agentes nas especificações FIPA	50
3.9	Estrutura de um Sistema OAA	53
3.10	Estrutura de Agentes que representam Companhias Produtoras, no sistema SEPIA . .	59
4.1	Janelas iniciais do simulador – Consumidor e Retalhista	67
4.2	Janelas referentes ao Agente Consumidor e ao Agente Retalhista	68
4.3	Diagrama de estados do protocolo de ofertas alternadas	70
4.4	Representação FIPA do protocolo de ofertas alternadas	71
4.5	Factor de concessão para os itens em jogo	85
4.6	Factores de concessão para os itens em jogo – Consumidor e Retalhista	86
4.7	Função para cálculo do factor de concessão	86
4.8	Factor de concessão polinomial para a computação de $C_f(t)$ para a estratégia compla- cente baseada no tempo de negociação	87
4.9	Factor de concessão polinomial para a computação de $C_f(t)$ para a estratégia conser- vadora baseada no tempo de negociação	88
4.10	Factores de concessão polinomiais $C_f(t)$ para as estratégias baseadas no tempo de negociação	89

5.1	Procedimento detalhado para a realização dos ensaios finais	106
A.1	11/04/2012 – Preço horário do mercado diário	A-3

Índice de Tabelas

3.1	Comparação de diversos simuladores de mercados de energia.	61
4.1	Resumo de cálculo de preços de mercado.	81
4.2	Períodos horários estabelecidos para um dia de consumo.	82
4.3	Resumo de valores para o agente Retalhista.	83
4.4	Volumes de energia do Consumidor.	84
4.5	Resumo de valores para o agente Consumidor.	84
4.6	Valores relativos a $C_f(t)$ para a estratégia complacente baseada no tempo de negociação.	87
4.7	Valores relativos a $C_f(t)$ para a estratégia conservadora baseada no tempo de negociação.	88
5.1	Dados para aplicação da análise de variância com um factor (Lopes, 2004).	98
5.2	Tabela ANOVA (Lopes, 2004).	100
5.3	Valores dos parâmetros experimentais.	102
5.4	Intervalos de valores possíveis para os principais aspectos negociais.	103
5.5	Resultados finais da experiência.	107
5.6	Efeito da estratégia de a_{gc} sobre o seu benefício.	108
5.7	Efeito da estratégia de a_{gc} sobre o benefício conjunto.	108
5.8	Efeito da estratégia de a_{gc} sobre a duração do processo negocial.	109
A.1	Resultados do Mercado – Preço do mercado diário (EUR/MWh)	A-4
B.1	Perfil de carga de um consumidor com alto factor de carga (A partir de 1 de Janeiro de 2003)	B-3
B.2	Resumo do perfil de carga dividido nos seis períodos horários	B-4
C.1	Resultados dos 40 ensaios do <i>grupo</i> ₁	C-3
C.2	Resultados dos 40 ensaios do <i>grupo</i> ₂	C-7
C.3	Resultados dos 40 ensaios do <i>grupo</i> ₃	C-11
C.4	Resultados dos 40 ensaios do <i>grupo</i> ₄	C-15

Índice de Acrónimos

<i>Acrónimo</i>	<i>Significado</i>
ACL	<i>Agent Communication Language</i>
AMES	<i>Agent-Based Modelling of Electricity Systems</i>
AMR	<i>Agent Message Router</i>
ANL	<i>Argonne National Laboratory</i>
ANOVA	<i>ANalysis Of VAriance</i>
AT	Alta Tensão
BDI	<i>Belief-Desire-Intention</i>
BETTA	<i>British Trading and Transmission Arrangements</i>
CBF	Contratos Bilaterais Físicos
CMVM	Comissão do Mercado de Valores Mobiliários
CNE	Comissão Nacional de Energia
CNMV	Comissão Nacional do Mercado de Valores
CUR	Comercializadoras de Último Recurso
EDA	Electricidade dos Açores
EDP	Energias de Portugal
EEM	Empresa de Electricidade da Madeira
EMCAS	<i>Electricity Market Complex Adaptive System</i>
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
EUA	Estados Unidos da América

FIPA	<i>Foundation for Intelligent Physical Agents</i>
GECAD	Grupo de Investigação em Engenharia do Conhecimento e Apoio à Decisão
ICL	<i>Interagent Communication Language</i>
ISEL	Instituto Superior de Engenharia de Lisboa
JADE	<i>Java Agent DEvelopment Framework</i>
JATLite	<i>Java Agent Template Lite</i>
LGPL	<i>Lesses General Public License Version 2</i>
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
MASCEM	<i>Multi-Agent System that Simulates Competitive Electricity Markets</i>
MAT	Muito Alta Tensão
MEMS	<i>Multi-Agent Electricity Markets Simulator</i>
MIBEL	Mercado Ibérico de Electricidade
ML	Mercado Liberalizado
MR	Mercado Regulado
NEMSIM	<i>National Electricity Market Simulation System</i>
NETA	<i>New Electricity Trading Arrangements</i>
NYSEG	<i>New York State Electric and Gas Corporation</i>
OAA	<i>Open Agent Architecture</i>
OIS	Agente Operador Independente de Sistema
OMIE	Operador do Mercado Ibérico, Pólo Espanhol
OMI	Operador do Mercado Ibérico
OMIClear	Sociedade de Compensação de Mercados de Energia
OMIP	Operador do Mercado Ibérico, Pólo Português
PRE	Produção em Regime Especial
PURPA	<i>Public Utility Regulatory Policies Act</i>

REE	<i>Red Eléctrica de España</i>
REN	Rede Eléctrica Nacional
Repast	<i>Recursive Porous Agent Simulation Toolkit</i>
SEI	Sistema Eléctrico Independente
SEN	Sistema Eléctrico Nacional
SENV	Sistema Eléctrico Não Vinculado
SEP	Sistema Eléctrico de Serviço Público
SEPIA	<i>Simulator for Electricity Power Industry Agents</i>
SMA	Sistema Multi-Agente
SMART	<i>Spot Market Agent Research Tool</i>
SMEE	Simulador de Mercado de Energia
SMEEM	Simulador de Mercado de Energia Eléctrica Multi-Agente
TGCC	Turbinas a Gás com Ciclo Combinado

Nomenclatura

α	nível de significância
β	parâmetro que descreve a convexidade das curvas de concessão
δ	parâmetro que indica o instante temporal da proposta do opositor
\mathbb{N}	conjunto dos números naturais
μ_p	média da população p
v	parâmetro de volume
ω_i	importância relativa que o agente atribui aos itens em negociação
\bar{x}_p	média dos resultados dos n_p ensaios
\bar{x}_{ph}	resultado de cada ensaio
\bar{x}	média global dos resultados de todos os ensaios
A_g	conjunto de agentes possível
a_{gc}	agente que representa a entidade de consumo
a_{gj}	qualquer agente dentro do conjunto de agentes possível
a_{gr}	agente que representa a entidade de retalho
B_{prc}	benefício que P_i proporciona a a_{gc}
B_{prr}	benefício que P_i proporciona a a_{gr}
B_{pr}	benefício que P_i proporciona a ambos os agentes
C_f	factor de concessão
$C_f(t)$	factor de concessão em ordem ao tempo
$C_f(V)$	factor de concessão em ordem ao volume de energia
CO_2	Dióxido de Carbono

F	estatística de teste
GLD	número de termos independentes que a variação SQD comporta
GLE	número de termos independentes que a variação SQE comporta
GLT	<i>número de graus de liberdade total</i>
H_0	hipótese nula
H_1	hipótese alternativa
inf	informação de quem começa a negociação
k	constante que regulariza o cálculo da contra-proposta
M	parâmetro que traduz a quantidade que um agente poderá imitar
$máx_i$	limite máximo do preço da energia eléctrica de um agente j
min_i	limite mínimo do preço da energia eléctrica de um agente j
MQD	média quadrática dentro dos grupos
MQE	média quadrática entre grupos
N	número total de ensaios
n	número de tarifas reais
n_p	número de ensaios de cada grupo de teste
p	número de populações da experiência negocial
P_i	preço da energia eléctrica de um agente j
$P_{c \rightarrow r}^{t_{m+1}}$	preço que o agente irá formular para a contra-proposta
$P_{c \rightarrow r}^{t_{m-1\delta}}$	último preço que o agente enviou ao opositor
$P_{c \rightarrow r}^{t_{m-2\delta+1}}$	preço que o agente recebeu do opositor uma iteração atrás
$P_{r \rightarrow c}^{t_{m-2\delta}}$	preço que o agente recebeu do opositor duas iteração atrás
$P_{ref.i}$	preço de referência da energia eléctrica de um agente j
$prop_{t1}$	mensagem com a proposta no instante inicial de um agente a_{gj}
$prop_{tm}$	mensagem de uma proposta genérica
s	parâmetro que nos diz o comportamento da utilidade do agente

SQD	variação ou soma de quadrados dentro dos grupos
SQE	variação ou soma de quadrados entre grupos
SQT	<i>soma de quadrados total</i>
T	conjunto de instantes temporais
t	tempo de negociação restante
t_m	instante temporal genérico em que é apresentada uma proposta
$t_{m\acute{a}x}$	tempo máximo que uma negociação pode durar (<i>deadline</i>)
U	função de utilidade de um determinado agente
V_i	volume de energia correspondente a um determinado preço
V_{Total}	volume total de energia

Glossário

Data Mining navegação através de dados para identificar padrões e estabelecer relações. 57

Demand Response gerenciar o consumo de energia eléctrica do cliente em resposta às condições de fornecimento. 29

Facilitator agente utilitário específico que conhece as capacidades de cada agente. 53, 54

Forwards acordo, entre duas partes, para comprar ou vender um determinado bem ou activo. 23

Logrolling a troca de assistência ou favores. 72, 73

Nameserver agente utilitário específico que mantém a identificação da sociedade de agentes. 54, 55

PDA Personal Digital Assistant (dispositivo electrónico de informação portátil). 41

Q-learning técnica de aprendizagem de reforço que funciona aprendendo uma função acção-valor. 60, 61

Request for Proposal pedido de proposta que um agente ou entidade real efectua e que determina o começo de uma negociação. 55

Swaps acordo estabelecido entre ambas as partes para a troca de movimentos monetários futuros. 23

Visualiser agente utilitário específico que principalmente vê as sociedades de agentes. 54

blackouts período em que existe uma falta de energia eléctrica enorme, na iluminação resulta em completa escuridão. 5

deadline limite de tempo para qualquer actividade. 75, 78, 87

desktops principal interface de usuário de um computador. 41

pool combinação de entidades que contribuem com dinheiro com o objectivo de aumentar ou diminuir o preço de mercado de diversas mercadorias. 20–23, 27, 57

sockets ponto final de um processo de fluxo de comunicação através de uma rede de computadores. 54

software termo geral para os vários tipos de programas usados para operar computadores e dispositivos relacionados. 3, 50, 51, 54

spot mercado financeiro público, em que instrumentos financeiros ou mercadorias são negociados para entrega imediata. 19, 23, 25, 27

1

Introdução

Este capítulo introduz o contexto do trabalho realizado no âmbito da dissertação. O capítulo começa por apresentar as motivações da dissertação e descreve o estado actual dos mercados mundiais de energia eléctrica, referindo os problemas que se levantam na construção de ferramentas computacionais, em particular no que toca ao uso deste tipo de ferramentas para auxiliar os mercados, principalmente na Europa, nesta época de liberalização. De seguida, o capítulo apresenta a proposta de trabalho, segundo a qual se definem os objectivos e os meios utilizados no desenvolvimento de agentes autónomos negociadores e na construção do novo simulador de contratos bilaterais, que permite resolver alguns dos problemas em aberto. Por fim, o capítulo apresenta as contribuições da dissertação e descreve a sua organização.

1.1 Enquadramento

A indústria de energia eléctrica fornece a produção e a entrega de electricidade para empresas e residências através de uma rede. No passado recente, as empresas de energia eléctrica detinham a propriedade de toda esta infra-estrutura, desde as estações geradoras às linhas de transmissão e redes de distribuição. Era um mercado extremamente regulado. A desregulamentação do sector eléctrico, nacional e internacional, basicamente dividiu o mercado, ou seja, separou as funções de geração de electricidade e de retalho, que o monopólio natural cobria, e criou dois novos mercados, em que as diversas entidades se movimentam e negociam: o mercado grossista e o mercado retalhista. Criaram-se diversos tipos de tecnologias para servirem os novos mercados liberalizados. Muitas destas novas tecnologias reduziram apreciaavelmente as economias de escala, ou permitiram o aproveitamento de recursos renováveis, tendo contribuído para a expansão da produção descentralizada, que hoje já assegura um contributo com significado na satisfação do consumo de energia eléctrica (Paiva, 2007).

O elemento físico decisivo para a remoção do carácter monopolista da produção de electricidade é a rede eléctrica. Os grandes avanços conseguidos no planeamento e operação das redes eléctricas deveram-se à utilização intensiva de equipamento informático de última geração e de *software* mais evoluído. Estes equipamentos contribuem decisivamente para tornar aquelas infra-estruturas mais eficientes e fiáveis. Mas para essa eficiência se tornar de certa forma visível, é necessário um modelo desta rede eléctrica, para contrabalançar os erros humanos na parte da negociação do produto.

Existem dois modelos de mercado que se destacam, o modelo em bolsa e o modelo dos contratos bilaterais. O modelo em bolsa está implementado, de uma forma geral, em todos os países que possuem um mercado liberalizado. É constituído por um mecanismo de curto prazo que pretende equilibrar a produção e o consumo, e funciona normalmente no dia anterior àquele em que será implementado o resultado das propostas de compra/venda. Outra forma de negociação de energia eléctrica consiste nos contratos bilaterais, ou seja, produtores e consumidores estabelecem entre si as condições de entrega de energia (quantidade e preço a que esta é transaccionada). Este tipo de modelo pretende responder adequadamente ao risco inerente ao funcionamento dos mercados em bolsa e conferir às entidades consumidoras uma capacidade real de elegerem o fornecedor com o qual se pretendem relacionar.

Os participantes destes modelos de mercado poderão negociar entre si para obter o maior benefício possível. Neste caso será feito o uso de contratos bilaterais no mercado de retalho. Se optássemos por modelizá-los em tempo real, estes representariam muito melhor os actuais mercados mundiais de electricidade. Uma simples mas poderosa solução, é permitir que os participantes do mercado negociem acordos mutuamente vantajosos. Os contratos bilaterais têm a vantagem da previsibilidade de preços em comparação com a incerteza dos preços definidos no mercado bolsista (preços de mercado).

O trabalho foi realizado no âmbito do projecto MAN-REM: Negociação Multi-Agente e Gestão de Risco em Mercados de Energia Eléctrica (FCOMP-01-0124-FEDER-020397), suportado por fundos nacionais e pelo FEDER, através do programa COMPETE – Programa Operacional Temático Factores de Competitividade.

1.2 Motivações

Com a evolução crescente do sistema eléctrico e o aumento da sua complexidade, cada vez mais o seu estudo e a sua modelação se tornam importantes, por forma a melhorar este sistema a nível técnico e a nível económico e ambiental. Com a recente liberalização do sector eléctrico, o mercado de energia tornou-se mais competitivo, exigindo às companhias comercializadoras de energia estratégias de mercado mais completas e eficientes.

O aumento da competitividade entre produtores de energia eléctrica pode levá-los a inovarem e a funcionarem de forma mais eficiente e económica, de modo a maximizarem o seu lucro. A inovação pode levar à diminuição dos preços e a uma melhor utilização dos recursos energéticos. Assim, esta competição é um aspecto importante para melhorar a eficiência do fornecimento de electricidade beneficiando, conseqüentemente, os consumidores.

A análise da maioria dos mercados de electricidade permite concluir que estes estão longe de estarem desregulamentados. Actualmente, as tarifas estabelecidas para contratos bilaterais não reflectem a pressão da concorrência.

Tendo em conta estas duas motivações, o facto da competitividade ser um factor influente nos mercados actuais e o facto de ainda não se verificar uma concorrência que permita a igualdade de oportunidades, é importante o desenvolvimento de simuladores de mercados de energia eléctrica (ferramentas computacionais) que permitam a construção e análise de opções económicas diferentes, para que as empresas tenham um suporte de apoio na tomada de decisões estratégicas.

Uma terceira e última motivação passa pelo factor de gestão dos mercados de energia, que é cada vez mais uma prioridade, devido aos riscos que estes podem manifestar, associados às súbitas mudanças nos preços, ou seja, à elevada volatilidade de preços em diferentes momentos diários (ponta, cheia e vazio) e aos volumes de energia eléctrica (incertezas no consumo e na produção). Além disso, os participantes do mercado de energia eléctrica são obrigados a trabalhar com previsões do consumo de energia, que por sua vez se associam a vários problemas essenciais, incluindo:

- *Baixa produção*: se os produtores não produzirem energia suficiente, a falta de energia pode causar cortes no abastecimento, ou mesmo *blacksouts*;
- *Produção em excesso*: se os produtores produzirem mais electricidade do que a que for consumida, o sistema não é mais seguro nem económico. Isto porque a energia não pode ser armazenada, independentemente da tecnologia utilizada (quer sejam, por exemplo, centrais termoeléctricas ou hidroeléctricas).

1.3 Proposta de Trabalho

Uma negociação tradicional, conduzida face a face e via e-mail ou telefone, que resulta por exemplo num “apertar de mãos”, é frequentemente difícil de realizar, devido aos diversos constrangimentos que eventualmente possam vir a ocorrer, consumindo recursos desnecessariamente (Lopes e Coelho, 2010).

Muitas vezes os negociadores ficam satisfeitos com o resultado final. Contudo, se investigarmos mais minuciosamente, dinheiro e recursos são desperdiçados e potenciais ganhos permanecem por descobrir. Uma negociação automática promete um alto nível de eficiência de processos e, mais importante, um acordo mais rápido e com mais qualidade.

Pretende-se deste modo prolongar um modelo de mercado, mais propriamente um sistema multi-agente, onde os participantes actuais do mercado de energia eléctrica (representados neste modelo por agentes autónomos) terão o papel de negociadores. Um agente autónomo, ou automatizado, é um elemento que possui um determinado número de objectivos a cumprir num ambiente dinâmico e complexo. Considera-se autónomo porque possui os seus próprios mecanismos de percepção e de interacção com o ambiente envolvente e a capacidade para decidir quais as acções a tomar para atingir tais

objectivos. Esta abordagem prática tem como principal objectivo desenvolver um conjunto de estratégias a serem utilizadas pelos agentes autónomos negociadores presentes neste sistema. Sistemas computacionais são essencialmente descrições conceptuais de agentes, ou seja, modelos que definem as estruturas de dados, os processos que manipulam essas estruturas e o fluxo de informação entre os vários processos.

Com a elevada procura de sistemas que incluem agentes autónomos computacionais que representem indivíduos ou organizações empresariais capazes de chegarem a um acordo eficiente, serão modelizados dois agentes com diferentes estratégias e uma negociação com diversos itens. Um dos agentes representa a entidade que vende (retalhista) e o outro representa a entidade que compra (consumidor final), sendo o objectivo do agente vendedor maximizar o seu lucro. Deste modo, procura-se obter soluções para os problemas que a criação de um simulador deste tipo levanta, que no presente trabalho serão os problemas de projecto e de coordenação.

A interacção entre dois agentes de mercado permite que estes troquem alternadamente propostas e contra-propostas negociais com vista a uma gestão do lucro e do risco, por parte do retalhista, e à obtenção das melhores condições de compra, por parte do cliente.

As estratégias desenvolvidas e implementadas serão concretizadas no estudo de um caso prático referente ao mercado de retalho de energia liberalizado, com n tarifas reais. Atribui-se $n = 6$, ou seja, seis preços que representam seis períodos de carga ao longo do dia. O tipo e o valor real dessas tarifas dependem das entidades reais escolhidas.

Utilizar-se-à para a componente informática de programação as seguintes aplicações:

- Linguagem de programação Java (Savitch, 2012);
- Plataforma *Java Agent DEvelopment Framework* (JADE) (Bellifemine et al., 2007).

1.4 Contribuições

A presente dissertação surge na sequência do trabalho de desenvolvimento de um simulador multi-agente com competência para resolver os conflitos que surgem através do processo de negociação (Rodrigues, 2011). Pretende-se assim contribuir na área, através da extensão de um simulador de mercado, baseado na tecnologia multi-agente. A dissertação de (Rodrigues, 2011) é a

base do presente trabalho e descreve o desenho e a implementação de um simulador simplificado para negociação de contratos bilaterais em mercados de energia, com particular incidência para o desenho de estratégias a utilizar pelas partes negociais.

A presente dissertação apresenta várias contribuições referentes aos objectivos referidos na secção anterior, que passam por:

1. *Desenvolver e formalizar um conjunto de estratégias (e as respectivas tácticas de negociação)*: as estratégias e tácticas baseiam-se no comportamento típico dos negociadores humanos e são integradas neste novo sistema de negociação para cada um dos agentes autónomos. Estes serão reforçados com várias estratégias, principalmente uma baseada no tempo restante de duração da negociação e outra no comportamento imitativo do opositor. Pretende-se, assim, complementar o modelo computacional de negociação já existente. O modelo não é genérico, apresentando realismo no que toca à sua programação;
2. *Realizar uma experiência computacional, demonstrando a exequibilidade e validando o modelo de negociação*: a experiência permite demonstrar a possibilidade de construir agentes autónomos com poder negocial, validar empiricamente a construção do modelo multi-agente, e testar o processo de escolha das estratégias a utilizar por parte de um agente. Pretende-se realizar uma experiência próxima da realidade, de modo a que os resultados obtidos possuam significado lógico e racional;
3. *Estudo de um caso prático*: a experiência teve por base um caso prático de estudo, com preços reais retirados do mercado diário e com volumes/consumos retirados de um perfil de consumo uniformizado.

O modelo de negociação é composto por duas componentes, nomeadamente: (i) um protocolo de negociação bilateral, e (ii) um conjunto de estratégias de negociação.

1.5 Organização

O capítulo 2 efectua o enquadramento do trabalho realizado no âmbito da dissertação. Este capítulo apresenta uma descrição geral do mercado de energia eléctrica, explicando o seu conceito, indicando algumas das suas características, os seus principais constituintes e os principais modelos de mercado, destacando os contratos bilaterais.

Neste capítulo também se descreve o actual processo de liberalização do sector eléctrico português e internacional. Faz-se referência ao MIBEL e indicam-se algumas das etapas necessárias até à sua plena implementação em Portugal e Espanha.

O capítulo 3 descreve os mercados de energia eléctrica multi-agente, apresentando de forma sucinta os principais tipos de agentes autónomos computacionais existentes, o conceito de agente e as suas arquitecturas e ambientes. Para além de caracterizar os conflitos e os principais problemas relacionados com o desenho de agentes autónomos negociadores, descreve também os principais aspectos da comunicação existente entre agentes deste tipo. Apresenta-se também, a par de algumas plataformas que servem de base a sistemas multi-agente, uma análise comparativa dos principais simuladores de mercados de energia existentes.

No capítulo 4 apresenta-se o trabalho que serviu de base ao desenvolvimento de cada um dos novos agentes autónomos, como também do simulador desenvolvido, onde estes agentes estarão presentes. Indicam-se os principais desafios conceptuais a superar na realização do simulador proposto nesta dissertação e definem-se e caracterizam-se os agentes intervenientes em contratos bilaterais de electricidade. A primeira parte do capítulo apresenta o modelo de negociação, mais propriamente o protocolo em que o simulador se baseia, e a sua interface gráfica. A segunda parte do capítulo apresenta as estratégias individuais segundo as quais se pode avaliar e analisar o comportamento de cada agente criado, bem como os valores de estudo de cada um deles: o agente retalhista e o agente consumidor.

O capítulo 5 descreve detalhadamente a experiência computacional realizada. A experiência teve como principal objectivo validar a versão final do modelo de negociação, que suporta a negociação bilateral multidimensional. A experiência compreende um teste de hipóteses a quatro hipóteses construídas com base nas estratégias existentes e também nas conclusões da negociação real. Apresentam-se as conclusões resultantes de uma análise estatística dos resultados experimentais.

Finalmente, o capítulo 6 apresenta as principais conclusões do trabalho realizado no âmbito da dissertação. Este capítulo efectua um balanço desse trabalho, descreve as suas contribuições científicas, e apresenta alguns problemas que serão objecto de investigação num futuro próximo.

2

Mercados de Energia Eléctrica

Este capítulo apresenta uma análise sucinta dos aspectos científicos presentes na dissertação. O capítulo começa por apresentar uma pequena introdução histórica dos mercados de energia eléctrica mundiais e como estes foram evoluindo com o passar dos anos. Descrevem-se ainda os principais factores que levaram à liberalização deste tipo de sector e a actual estrutura destes mercados. De seguida, o capítulo caracteriza o Mercado Ibérico de Electricidade, bem como a divisão de tarefas entre Portugal e Espanha. Posteriormente, efectua-se uma análise aos modelos de negociação estudados na âmbito do presente trabalho, que revela o mercado escolhido para a análise realizada e a razão da escolha. Por fim, descrevem-se sucintamente as principais entidades intervenientes nos mercados de electricidade e explica-se o seu papel na hierarquia existente, desde a produção até ao consumidor final.

2.1 Introdução Histórica

Até muito recentemente, os governos da maioria dos países consideravam o seu respectivo sector eléctrico um monopólio natural¹ sendo, portanto, fortemente regulado pelo Estado. Actualmente, o sector eléctrico está a passar por uma profunda alteração estrutural à escala mundial, ou seja, está a acontecer uma reestruturação do mercado eléctrico mundial, sendo tais mudanças devidas à ocorrência simultânea de três categorias de factores:

- Mudanças estruturais na economia mundial;
- Aparecimento de novas tecnologias (investimento por parte dos produtores);
- Aumento da eficiência, com preços mais favoráveis para os consumidores.

Esta alteração regulatória, que se pode designar genericamente por reforma do sector eléctrico, envolve, em geral, uma complexa interacção de factores. Em particular, há um relacionamento dinâmico entre reestruturação de empresas do Estado, mudanças no regime de propriedade, e mudanças nas instituições regulatórias, que são pré-requisitos para a introdução de competição, especialmente se a indústria é muito concentrada horizontalmente e integrada verticalmente.

Nesse novo contexto de desregulamentação, as fusões e consolidações estão entre as opções estratégicas disponíveis para as companhias que procuram reposicionar-se, em resposta ao emergente ambiente competitivo. É de praxe nos países de economia de mercado, no entanto, estabelecer que os actos de concentração económica sejam submetidos à apreciação de órgãos encarregados de zelar pela defesa da concorrência.

2.1.1 Reestruturação do Sector Mundial de Energia Eléctrica

O modelo organizacional tradicional do sector eléctrico começou a despertar especial interesse a partir dos finais do século XX, quando se iniciou o movimento de produção independente de electricidade, primeiro nos Estados Unidos da América (EUA), e depois em países dos vários continentes, na sequência do primeiro choque petrolífero, com a publicação em 1978 da *Public Utility Regulatory Policies Act* (PURPA), que criou a figura do produtor

¹Um monopólio natural existe num certo mercado se uma única empresa puder servir aquele mercado a custos mais baixos do que qualquer combinação de duas ou mais empresas. O monopólio natural decorre das propriedades da tecnologia de produção, às vezes em associação com a procura de mercado, e não das actividades de governos ou rivais (OECD, 2011).

independente e a obrigação das empresas concessionárias monopolistas adquirirem a energia por eles produzida. Em 1992, o *Energy Policy Act* trouxe a revisão da PURPA, ordenando o planeamento integrado de recursos para todas as concessionárias, bem como a inclusão de um conjunto alargado de medidas de conservação de energia e de gestão da procura (Paiva, 2007).

Esta reforma, embora com diferenças entre os diversos mercados, consiste na liberalização dos segmentos potencialmente competitivos (principalmente, da geração e venda de electricidade), e pela regulação dos segmentos considerados como monopólios naturais, como se pode ver na figura 2.1. Isto significa mudar o centro de decisão do Estado, ou de outras entidades influenciadas pelo Estado, para o mercado e, muitas vezes, dar aos consumidores uma opção de escolha na compra. Isto tornou-se possível com o aperfeiçoamento da tecnologia de Turbinas a Gás com Ciclo Combinado (TGCC) aliada à expansão da oferta de gás natural. Mas, o golpe fatal para a quebra dos monopólios no sector eléctrico foram as reformas do sector, no final dos anos 70 e início dos anos 80, no Chile e Inglaterra, que precederam a venda das respectivas empresas de energia eléctrica do Estado.

Este fenómeno consistiu na criação de um mercado de energia em bolsa entre a Inglaterra e o País de Gales, através da publicação do *Electricity Act* em 1989. O *Electricity Act* permitiu iniciar a privatização de empresas do sector eléctrico, aumentando a concorrência nos subsistemas de produção e de distribuição. Além disso, criou uma entidade independente para gerir o transporte, denominada por *National Grid Company*.

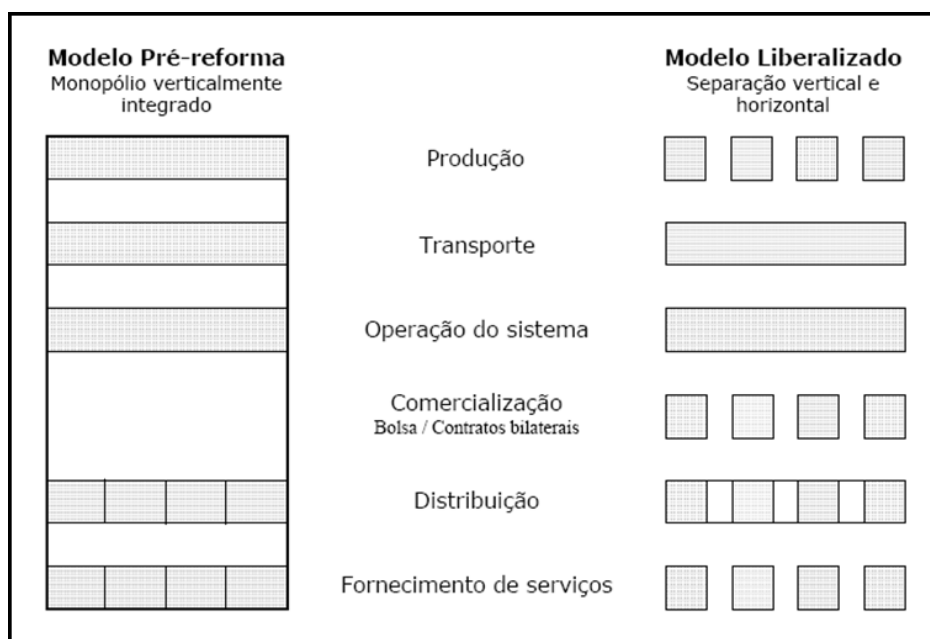


Figura 2.1: Transição para o regime liberalizado (Sousa, 2011).

Em Março de 2001, o mercado de produção de energia eléctrica de Inglaterra e País de Gales foi submetido a uma reforma importante, tendo sido o modelo de mercado em vigor substituído pelo *New Electricity Trading Arrangements* (NETA). A comercialização da energia eléctrica para o dia seguinte, que era realizada obrigatoriamente em bolsa, passou também a ser possível através de contratos bilaterais. Esta alteração reduziu o âmbito do mercado organizado, até então em vigor, dando origem a um mecanismo de compensação de desvios em tempo real. No dia 1 de Abril de 2005 foi criado um mercado grossista de energia eléctrica único para a Grã-Bretanha, com a inclusão da Escócia, através da implementação do *British Trading and Transmission Arrangements* (BETTA).

Após a criação da bolsa de energia entre a Inglaterra e o País de Gales, outros países europeus seguiram o processo de reestruturação do sector eléctrico. Em 1991, a Noruega colocou em funcionamento uma bolsa de energia, que foi estendida à Suécia em 1996, dando origem à *NordPool*. Actualmente, a *NordPool* também inclui a Finlândia e a Dinamarca. De realçar, que a *NordPool* é o primeiro (e o maior) mercado multinacional de energia eléctrica do mundo.

Em 1997, em Espanha, foi aprovada a *Ley del Sector Eléctric* pelas Cortes, para vigorar a partir de Janeiro de 1998. Esta lei consagrou uma profunda reestruturação, ordenando (Paiva, 2007):

1. a redução da intervenção estatal;
2. a diferenciação entre actividades reguladas (transporte, distribuição e operação do sistema) e não reguladas (produção e comercialização), e a sua separação jurídica;
3. a criação de um mercado grossista;
4. a liberdade de escolha dos consumidores;
5. o acesso livre a terceiros.

Em Portugal, em Dezembro de 1944, o Estado chama definitivamente a si a definição da política de electrificação nacional, passando a dirigir, orientar e intervir no sector. Entre as décadas de quarenta e sessenta do século passado, realizaram-se os grandes aproveitamentos hidroeléctricos.

O sector eléctrico passou definitivamente a assentar em concessões do Estado aos municípios, exploradas por sociedades privadas concessionárias, em regra participadas pelo Estado.

Em 1975, à semelhança do que aconteceu em outros sectores de actividade económica, assistiu-se à nacionalização do sector eléctrico e, como consequência, à criação de empresas públicas.

A estas são conferidas, em exclusivo, em regime de serviço público por tempo indeterminado, o exercício das actividades de produção, transporte e distribuição de energia eléctrica:

- Energias de Portugal (EDP), no Continente;
- Electricidade dos Açores (EDA) nos Açores;
- Empresa de Electricidade da Madeira (EEM) na Madeira.

Com o pacote legislativo de 1995, que estabeleceu as regras comuns com vista à criação do mercado interno de electricidade, dá-se início à liberalização do sector. Este acontecimento foi marcado pela reprivatização da EDP e pela afirmação do princípio de liberdade de acesso às actividades de produção e distribuição de energia eléctrica, através da definição do Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

O SEN baseia-se na coexistência de um Sistema Eléctrico de Serviço Público (SEP), presente no Mercado Regulado, e de um Sistema Eléctrico Independente (SEI), composto pelo Sistema Eléctrico Não Vinculado (SENV) e pela Produção em Regime Especial (PRE), presente no Mercado Liberalizado.

Simultaneamente, consagra-se a regulação do sector eléctrico através da criação de uma entidade administrativa independente, nomeadamente a Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE).

Conforme referido acima, a organização do SEN assenta na coexistência de um Mercado Liberalizado (ML) e um Mercado Regulado (MR). Desta forma, os agentes económicos têm a opção de estabelecer relações contratuais com o comercializador regulado, ao abrigo das condições aprovadas pela ERSE, ou negociar outras condições com os comercializadores em ML (ver figura 2.2).

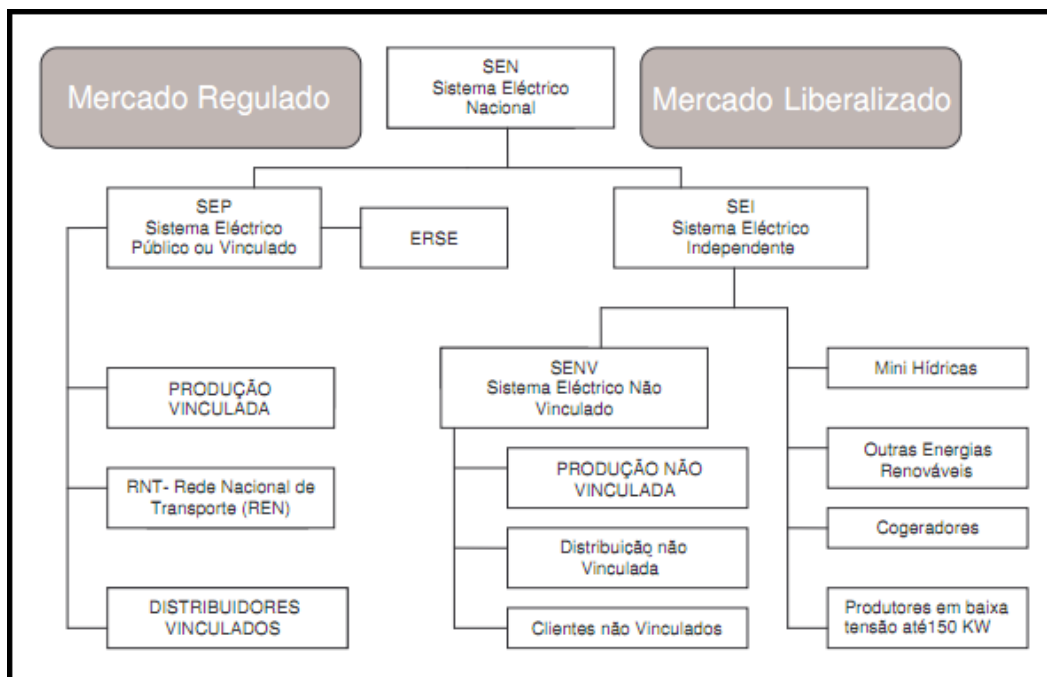


Figura 2.2: Organização do sistema eléctrico nacional (aicep Portugal Global, 2008).

2.1.1.1 Mercado Grossista e Retalhista

A figura 2.3 apresenta um diagrama sucinto sobre o modo como se organiza o sistema eléctrico nacional, que pode ser dividido em quatro actividades principais:

- produção;
- transporte;
- distribuição;
- comercialização.

Estas actividades são desenvolvidas, em regra, de forma independente, a que acresce a operação dos mercados organizados de electricidade. Deste modo, cria-se uma cadeia de valor no sector eléctrico (ver figura 2.3).

A produção em centrais electroprodutoras—térmicas ou a partir de fontes renováveis, incluindo os grandes aproveitamentos hidroeléctricos— cobre em Portugal grande parte do consumo de energia eléctrica, sendo a restante obtida por importação através das interligações com a rede espanhola.

Esta energia irá para a rede de transporte, em Alta Tensão (AT) ou Muito Alta Tensão (MAT), que é entregue às redes de distribuição, em níveis de tensão mais baixos, para satisfação das necessidades dos consumidores.

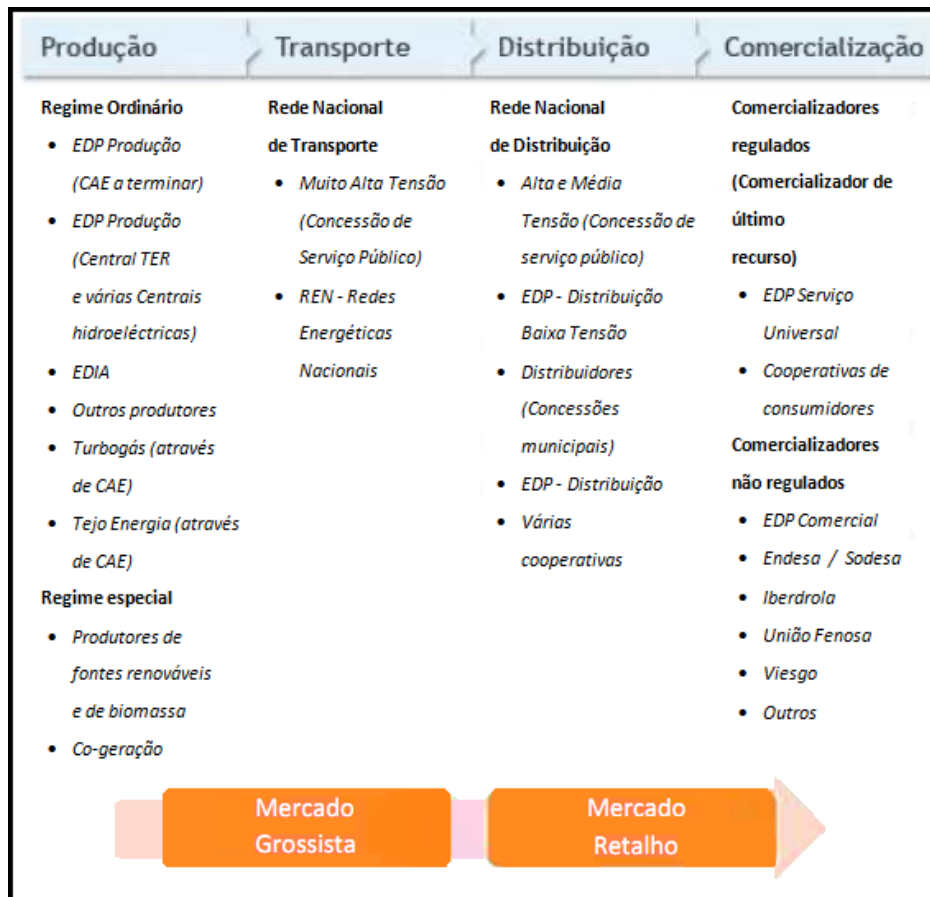


Figura 2.3: Cadeia de valor (aicep Portugal Global, 2008).

De maneira a manter as actividades do sector eléctrico abertas à entrada de novos operadores em regime de mercado, foi separada a propriedade da rede de transporte das restantes actividades do sector, e a distribuição foi juridicamente e funcionalmente separada da actividade de comercialização de energia eléctrica. Enquanto a distribuição veicula a energia nas condições técnicas adequadas através das redes, a comercialização garante os procedimentos comerciais inerentes à venda a grosso e a retalho de energia eléctrica.

Assim, aprofundaram-se no sector eléctrico as competências de supervisão de mercados. Entende-se por mercado grossista aquele que é destinado a facilitar os circuitos de distribuição diminuindo o número dos intermediários entre o produtor e o consumidor (área de actuação dos produtores). Algo diferente é o mercado retalhista, que viu o desenvolvimento do processo de liberalização do sector eléctrico ditar a abertura da sua comercialização, podendo, no actual enquadramento, qualquer consumidor escolher livremente o seu fornecedor de electricidade (área de actuação dos consumidores), influenciando, assim, o poder de mercado² (ERSE, 2011a).

²Este pode ser definido como a capacidade de influenciar o preço da energia eléctrica, ou de conseguir excluir competidores, durante um certo período de tempo, de forma a melhorar o lucro e afastar o preço de valores competitivos.

Esta abertura do mercado veio reforçar a necessidade de se efectuar uma actividade de supervisão, que procura garantir, simultaneamente, a existência de condições de concorrência entre os diversos operadores e a minimização das assimetrias de informação entre os consumidores e os restantes agentes de mercado.

A evolução das condições no mercado retalhista, no que diz respeito ao preço da electricidade, é claramente condicionada pela evolução do mercado grossista, já que este último determina uma parte substancial (custos de energia) dos custos totais com o fornecimento de electricidade.

Os custos de energia são uma componente importante da liberalização do mercado de electricidade, já que correspondem à parcela que pode livremente ser negociada entre o consumidor e o respectivo fornecedor. Os custos com a utilização e o acesso às infra-estruturas (nomeadamente as redes) são iguais para todos os consumidores nas mesmas condições. Os consumidores podem aceder à informação sobre a parcela dos custos de electricidade que pode ser negociada com o seu fornecedor, nas próprias facturas de fornecimento.

Como seria de prever, nem todos os países adoptaram a mesma estrutura para os seus mercados, pelo que é normal surgirem algumas diferenças relativamente às entidades e às funções que desempenham. Dentro dos mercados grossistas “trabalham” duas entidades, que são dois dos participantes do sector eléctrico, designados de operador de mercado e operador de sistema (ver figura 2.4).

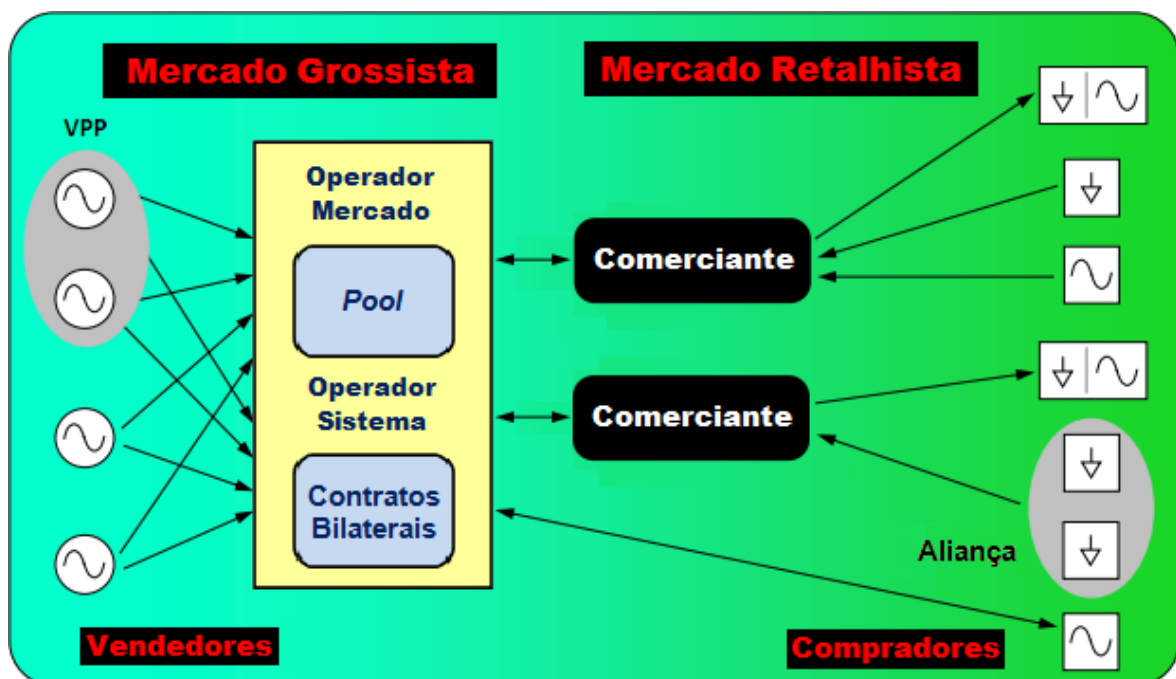


Figura 2.4: Mercado de energia liberalizado (Lopes et al., 2012).

2.2 Mercado Ibérico de Energia Eléctrica

A 1 de Julho de 2007 teve lugar a integração dos mercados português e espanhol (liberalizado desde 1998), dando lugar ao Mercado Ibérico de Electricidade (MIBEL). Decorreram dez anos sobre os primeiros passos dados por Portugal e Espanha com o objectivo de partilharem um caminho comum de construção do MIBEL (MIBEL, 2011). Esta cooperação revelou-se benéfica e frutuosa, pelo contributo que deu para a existência do mercado de energia eléctrica a nível ibérico, como um segundo passo significativo da Europa para a criação do mercado interno de energia, após a *NordPool*.

Haverá uma única bolsa de energia (operador de mercado) para a compra e venda de energia eléctrica por parte das empresas de ambos os países. Para Portugal, representa uma tripla mudança. O sistema português passa para um sistema totalmente liberalizado, em bolsa, e para um mercado de concorrência alargada.

Para o modelo do sector eléctrico espanhol continuam a existir dois sistemas: o regulado (ou à tarifa) e o liberalizado. No sistema regulado, os consumidores adquirem electricidade aos distribuidores sob o regime de tarifas reguladas.

As empresas de distribuição adquirem electricidade no mercado grossista, sendo as actividades de transporte e de distribuição exercidas em regime regulado. No sistema liberalizado, os consumidores qualificados e os comercializadores estabelecem bilateralmente entre si as condições para a transacção de electricidade.

Como consequência, o MIBEL está estruturado de forma a separar as duas actividades (regulada e liberalizada) em cada um dos dois países do qual faz parte, Portugal e Espanha. A estrutura destas actividades permite desempenhar dentro de uma determinada empresa as actividades reguladas, transporte e distribuição de energia, e as actividades liberalizadas, produção e comercialização de energia.

O Conselho de Reguladores do Mercado Ibérico de Electricidade é integrado pela Comissão Nacional do Mercado de Valores (CNMV) (entidade espanhola), pela Comissão do Mercado de Valores Mobiliários (CMVM) (entidade portuguesa), pela ERSE (entidade portuguesa), e pela Comissão Nacional de Energia (CNE) (entidade espanhola), que actualmente ostenta a presidência do Conselho de Reguladores do MIBEL.

No MIBEL, a contratação de energia eléctrica pode ser feita através de:

1. Mercado livre de contratação bilateral física: permitindo o estabelecimento de contratos entre todo o tipo de produtores e os demais agentes qualificados;
2. Mercados geridos pelo Operador do Mercado Ibérico (OMI):
 - (a) *Mercados de produtos físicos a prazo*: serão disponibilizados produtos normalizados, que podem assumir a forma de “blocos de energia” com uma duração fixa e pré-definida;
 - (b) *Mercado diário*: mercado organizado de curto prazo, para entrega de energia para cada um dos 24 períodos horários do dia seguinte, com funcionamento idêntico ao mercado diário já implementado em Espanha;
 - (c) *Mercados de ajuste*: mercado intra-diário, com várias sessões diárias e que permite a participação de todos os agentes, independentemente do modo de contratação que elegeram previamente: bilateral, mercado a prazo ou mercado diário;
 - (d) *Mercados de serviços de sistema*: a evoluir no sentido de uma gestão unificada nos dois sistemas eléctricos, particularmente após a entrada em funcionamento da linha “Alqueva-Balboa”.

No MIBEL há dois operadores de sistema: o português consiste na Rede Eléctrica Nacional (REN), e o espanhol na *Red Eléctrica de España* (REE). A REN exerce a actividade de transporte mediante uma concessão atribuída pelo Estado Português, em regime de serviço público e de exclusividade (Peireira, 2011).

Os mercados organizados do MIBEL funcionam com base numa bolsa ibérica de energia eléctrica assente em dois pólos, o português (Operador do Mercado Ibérico, Pólo Português) e o espanhol (Operador do Mercado Ibérico, Pólo Espanhol). Estes serão futuramente integrados e darão origem ao OMI, um operador de mercado único:

1. O Operador do Mercado Ibérico, Pólo Português (OMIP)³, actualmente operado por Portugal, gere as transacções a prazo do MIBEL;
2. O Operador do Mercado Ibérico, Pólo Espanhol (OMIE)⁴, operador do mercado espanhol, gere as transacções à vista (outro termo para o mercado *spot*).

³<http://www.omip.pt> .

⁴<http://www.omel.es> .

Com a concretização do MIBEL, passou a ser possível a qualquer consumidor no espaço ibérico adquirir energia eléctrica em regime de livre concorrência, a qualquer produtor ou comercializador que actue em Portugal ou Espanha.

2.3 Modelos de Mercado

Com a reestruturação do sector eléctrico, verificou-se que a ideia de competitividade e o estabelecimento de um mercado de energia eléctrica não seriam possíveis sem uma renovação em torno de vários modelos.

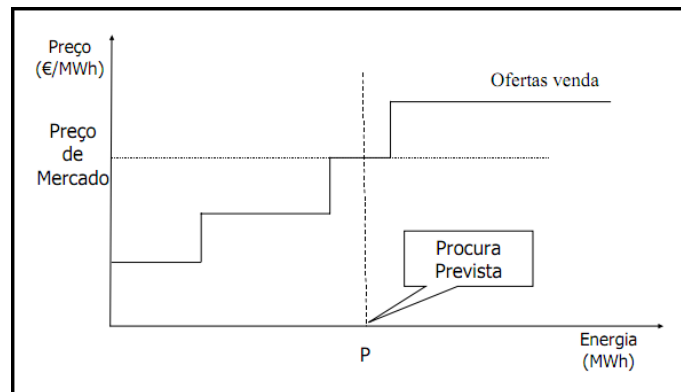
De facto, têm sido considerados vários modelos para a estrutura do mercado actual, como por exemplo os que se descrevem de seguida: mercado *pool*, mercado intradiário, mercado a prazo, contratos bilaterais e mercado misto.

2.3.1 Mercado Regulado em Bolsa (*Pool*) – Mercado Diário

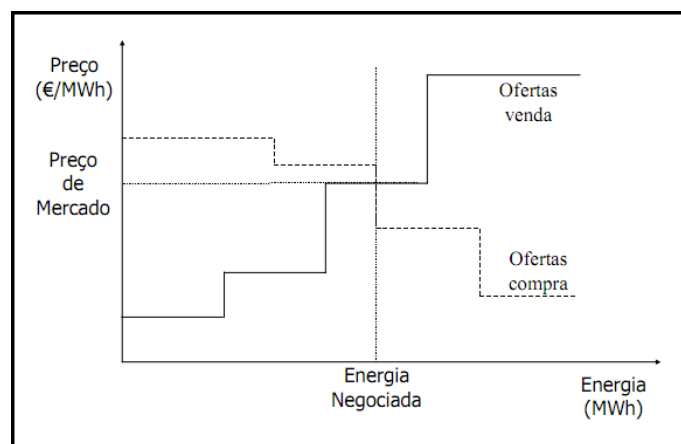
Nos mercados organizados em bolsa (modelo em bolsa), o operador de mercado é a entidade responsável pelo funcionamento da bolsa de energia eléctrica. É ele quem supervisiona o funcionamento da bolsa, recebe as propostas de compra e venda, e define o preço da electricidade e as propostas aceites em cada período da negociação (Pereira, 2004). Este operador é a entidade central do modelo em bolsa. Por um lado, relaciona as empresas produtoras, e por outro os comercializadores ou clientes elegíveis.

Uma *pool* pode assumir a forma de uma organização mais complexa, que se distingue de uma bolsa de energia eléctrica “pura” pelo maior grau de integração dos mercados de energia, de transmissão e de serviços de sistema. Esta “bolsa” comporta-se de forma diferente, dependendo do mercado ser assimétrico ou simétrico (ver subfiguras (a) e (b), da figura 2.5):

- No *Mercado Assimétrico*, a bolsa está estruturada de forma a permitir apenas a apresentação de propostas de venda de energia eléctrica. Neste mercado, os compradores não colocam licitações de compra, sendo feita apenas uma estimativa da procura;
- Quando existe competição, por parte de entidades vendedoras ou compradoras, o mercado designa-se por *Mercado Simétrico* e o mecanismo de definição de preço habitualmente empregue assenta num leilão duplo (com licitações vindas de ambas as partes).



(a) Mercado Assimétrico



(b) Mercado Simétrico

Figura 2.5: Representação gráfica dos dois tipos de mercado diário (Pereira, 2004).

Do mercado diário (*pool*) resulta um preço horário de fecho para a remuneração dos produtores, e definem-se as quantidades a produzir por cada produtor ou agente externo. Os agentes detentores de contratos bilaterais informam o operador do mercado dos volumes de energia a transaccionar diariamente, numa base horária. O operador de mercado informa, por sua vez, o operador de sistema da programação base de produção, previamente determinada. Portanto, a operação das empresas de transporte e distribuição é incluída numa camada negocial separada. A camada referente à regulamentação define regras operacionais, além da regulamentação do próprio mercado.

O operador de sistema é, deste modo, o responsável por administrar o transporte, manter a segurança do sistema eléctrico, e o escalonamento e planificação das operações. Esta entidade deve funcionar independentemente de qualquer outra entidade participante no mercado, garantindo um acesso não discriminatório a todos os utilizadores do sistema de transporte (Pereira, 2004). No caso particular do presente trabalho, como referido na secção 1.1,

estamos perante um mercado em que as transacções são feitas directamente entre um vendedor e um comprador, com preços, termos e condições negociados livremente e especificados num contrato entre as duas partes.

Contudo, há sempre a necessidade de verificar se há capacidade de transporte suficiente para assegurar a transacção e se a segurança do sistema eléctrico não é posta em causa, pelo que todos os *contratos bilaterais* têm que ser comunicados à entidade responsável pelo sistema eléctrico, ou seja, ao operador de sistema (ver também a secção 2.3.4).

2.3.2 Mercado Intradiário

O mercado ibérico intradiário é um mercado de ajustes, o que permite flexibilizar a operação e optimização do portefólio dos agentes ao longo de uma sequência de horizontes temporais sucessivos, oferecendo as mesmas garantias que o mercado diário em termos de transparência e possibilidades de supervisão. Nele podem participar todos os agentes compradores que tenham participado no mercado diário ou estabelecido contratos bilaterais.

Os preços das ofertas de venda são organizados de forma crescente, e no caso das ofertas de compra, organizados de forma decrescente. A intersecção das curvas de venda e de procura define o preço para cada período horário (onde seja necessário ajustar as necessidades do mercado), e efectuam-se os ajustes técnicos necessários ao funcionamento do sistema de modo a garantir a segurança, qualidade, e fiabilidade do mesmo.

A participação nos mercados *pool* pode ser obrigatória, significando que todos os agentes consumidores, produtores, ou retalhistas são obrigados a apresentar licitações de compra e venda na bolsa. Em alternativa, a participação pode ser voluntária, significando que os agentes de procura e oferta poderão apresentar as suas propostas em bolsa ou estabelecer contratos directos através da negociação bilateral.

2.3.3 Mercado a Prazo

O mercado a prazo do MIBEL é um mercado organizado, que iniciou a sua actividade em Portugal a 3 de Julho de 2006. A gestão do mercado é efectuada pelo OMIP e pela Sociedade de Compensação de Mercados de Energia (OMIClear), que desempenha as funções de câmara de compensação do mercado a prazo, em todas as operações realizadas no mercado de derivados do MIBEL (assim como em negócios bilaterais), contraparte central e entidade gestora do sistema de liquidação financeira das operações, etc (ERSE,

2011a). Este mercado permite aos compradores e vendedores de energia negociarem contratos de energia eléctrica para vários períodos, que podem ser semanais, mensais, trimestrais ou anuais, e onde o preço é definido pelo preço de fecho do mercado diário.

O mercado a prazo funciona diariamente de acordo com a calendarização demarcada pelo OMIP. O OMIP tem como principais responsabilidades a definição das regras de mercado, a admissão, suspensão ou exclusão dos membros de negociação, e a fiscalização do cumprimento das regras de mercado pelos membros. Além destas responsabilidades, esta entidade também controla as operações efectuadas no mercado dos contratos admitidos, por forma a assegurar o normal funcionamento da plataforma de negociação.

O mercado a prazo segue o modelo *pool* e permite às entidades estabelecerem contratos de energia, fixando o preço. Estão disponíveis para negociação três tipos de contratos: *Futuros*, *Forwards* e *Swaps*. Os contratos de futuros negociáveis em mercado admitem liquidação financeira e física, podendo também ser objecto de registo as operações realizadas fora de mercado, para efeitos de compensação. Este mercado permite aos agentes beneficiarem da transparência e do anonimato da negociação, permitindo a eliminação do risco de crédito de contraparte.

Os contratos *forward* são contratos padronizados (volume nominal e notação de preço) de compra ou venda de energia para um determinado horizonte temporal, em que o comprador se compromete a adquirir electricidade no período de entrega, e o vendedor se compromete a colocar essa mesma electricidade, a um preço determinado no momento da transacção.

Nos contratos *swap* troca-se uma posição de preço variável por uma posição de preço fixo, ou vice-versa, dependendo do sentido da troca. Este tipo de contratos destina-se a gerir o risco financeiro, não existindo entrega do produto subjacente, mas apenas a liquidação das margens correspondentes.

2.3.4 Contratos Bilaterais

No novo modelo do sector eléctrico, a electricidade é negociada do mesmo modo que outros produtos (transaccionáveis), através de um mercado aberto, onde os preços são regidos pela lei da oferta e da procura (Sánchez, 2008). Este mercado é conhecido como mercado *spot*, ou mercado de curto prazo, onde o vendedor entrega o bem imediatamente ao comprador, com preços, termos e condições negociados livremente e especificados num contrato entre as duas partes.

Neste mercado, não há condições que afectem a entrega nem há lugar à anulação do negócio. Esta definição é usada para liquidar as diferenças entre os contratos bilaterais e as quantidades efectivamente despachadas pelos geradores. Infelizmente, existem oscilações rápidas de preços, caracterizados por uma alta volatilidade e por riscos altos. Para diminuir estes efeitos, surgiram as transacções bilaterais. Contudo, há sempre a necessidade de verificar se há capacidade de transporte suficiente para assegurar a transacção e se a segurança do sistema eléctrico não é posta em causa.

O principal relacionamento entre a produção e a comercialização no tipo de mercado em análise caracteriza-se por ser estabelecido através de um contrato (bilateral) entre produtor e comercializador. Naturalmente, esta relação técnico-comercial não está sujeita à regulação, pelo que o uso das redes continua regulado. Secundariamente, para permitir transacções de energia excedentária, pode surgir uma (ou várias) bolsa de energia de excedentes, não obrigatória. Esta processa uma quantidade de energia cujo volume tem sido reduzido, face ao afecto aos contratos bilaterais.

Assim tem acontecido nas bolsas não obrigatórias que se constituíram na Inglaterra e no País de Gales, Holanda, Alemanha e França. O peso reduzido das transacções fora dos contratos bilaterais indicia que o relacionamento bilateral entre a produção e a comercialização conduz, ou reforça, os grupos empresariais integrados e auto-suficientes.

O comercializador só garante aos seus clientes um funcionamento com elevada garantia de fornecimento, se tiver à sua disposição produção suficiente para situações severas (avaria de equipamentos, seca prolongada), e se for possível estabelecer, convenientemente, a manutenção programada. O modelo desregulado em análise favorece a criação ou a manutenção de grupos empresariais integrados e com uma certa dimensão crítica. É razoável admitir a cooperação entre grupos empresariais existentes, como demonstrado no passado recente.

A produção independente dos grupos integrados referidos tem mais dificuldade em entrar no mercado de contratos bilaterais do que no sistema de bolsa obrigatória. O caso do mercado eléctrico nórdico, constituído pela Noruega, Suécia, Finlândia e parte da Dinamarca, merece uma menção especial, pelo facto da bolsa não obrigatória gerir um volume de energia mais elevado que o referido anteriormente. Cerca de 25% da energia consumida naqueles países é transaccionada em bolsa.

Sendo permitidos contratos bilaterais, as operações de sistema e de mercado devem ser conduzidas por entidades separadas. O operador de sistema deverá assegurar a viabilidade técnica do conjunto de contratos estabelecidos, interessando-lhe informações de natureza técnica, como a quantidade de energia eléctrica, e nós de injeção e consumo da potência a transaccionar.

O operador de sistema não tem, no entanto, qualquer necessidade de conhecer o preço da energia previsto nesses contratos. O operador de mercado organiza e gere as transacções entre os participantes. Esta estrutura dual é a que vigora em Espanha, na Escandinávia e na Califórnia, entre outros. Note-se, contudo, que não existem razões para que o preço do mercado *spot* não possa ser estabelecido pelo operador de sistema. No entanto, a gestão e organização dos contratos bilaterais compete sempre ao operador de mercado.

Os contratos bilaterais entre produtores e consumidores surgem como estabilizadores dos preços de mercado, devendo coexistir com um mercado *spot* não mandatário (Paiva, 2007). Este modelo de mercado é bastante flexível. No entanto, o elevado custo de negociação e de estabelecimento dos contratos, e o risco de crédito, são algumas das suas desvantagens.

Em particular, os contratos bilaterais apresentam três desvantagens:

1. Não são compatíveis com um despacho optimizado realizado de forma centralizada, conforme é norma nos sistemas eléctricos tradicionais e em algumas bolsas (com as devidas alterações);
2. A transparência dos preços é diminuída se um número muito elevado de actores enveredar por esta modalidade, o que pode apontar, na fase de abertura do sector, para a limitação de contratos bilaterais, pelo menos para as empresas dominantes;
3. Podem reforçar o poder de mercado e consequentemente permitirem a manipulação dos preços dos participantes mais poderosos. Na verdade, os contratos bilaterais podem resultar numa forma implícita de integração vertical entre produtores e distribuidores/comercializadores, quando aquela tenha sido abolida no plano empresarial.

Uma primeira possibilidade de esclarecer um relacionamento directo entre entidades produtoras e consumidoras corresponde ao estabelecimento de Contratos Bilaterais Físicos (CBF). Estes contratos englobam usualmente um prazo alongado e integram diversas disposições relativas ao preço do serviço a fornecer, às condições de fornecimento relativas, e à indicação dos nós em que será realizada a injeção e a absorção de potência (Saraiva et al., 2002).

Para além dos CBF, que afectam a exploração do sector eléctrico, existem contratos de índole tipicamente financeira, destinados a lidar com o risco decorrente dos mercados a curto prazo. São os contratos às diferenças e de futuros ou de opções.

Nos contratos às diferenças, a entidade produtora e a entidade consumidora chegam a acordo estabelecendo um preço alvo. As diferenças que surgirem entre esse preço alvo e o preço de mercado são compensadas por parte da entidade produtora, nos intervalos de tempo em que o preço de mercado for superior ao preço alvo, ou por parte da entidade consumidora, nos intervalos de tempo em que o preço de mercado for inferior ao preço alvo, estabilizando-se deste modo as remunerações no preço alvo.

Nos contratos de futuros, as entidades contratantes reservam o direito de utilização de energia eléctrica a um determinado preço com um determinado horizonte temporal. As opções permitem que as entidades contratantes possam utilizar ou não os recursos reservados, oferecendo por isso menor risco, já que podem ser desactivadas para aproveitamento de situações mais interessantes que possam entretanto surgir.

No caso mais concreto dos mercados de contratação de energia eléctrica pelo MIBEL, os mercados não organizados é que serão compostos por contratos bilaterais entre as suas entidades, de liquidação tanto por entrega física como por diferenças.

No âmbito da última análise publicada pelo MIBEL, respeitante ao mês de Fevereiro, pode-se verificar que o mercado de contratação bilateral física tem representado cerca de 39% do total de vendas. Desse total, a energia transaccionada em Espanha representou cerca de 43%, que corresponderam a 12,978 GWh do total de vendas de energia eléctrica. Apenas 15% se refere à fatia da contratação bilateral realizada em Portugal, que correspondem a 705 GWh do total de vendas de energia eléctrica (MIBEL, 2012).

No cômputo geral, a figura 2.6 demonstra o que a contratação bilateral física representou, em Fevereiro de 2012, no espaço do MIBEL, ou seja, cerca de 39% do volume total de vendas no mercado (contratação bilateral física e em mercado organizado). Embora o mercado de contratos bilaterais seja significativo, é fácil observar que o mercado organizado tem maior representação no mercado global.

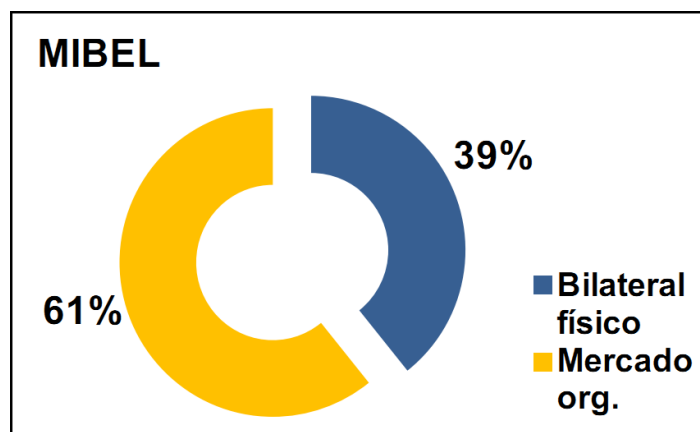


Figura 2.6: Contratação Bilateral no MIBEL (MIBEL, 2012).

A oferta de energia eléctrica em Portugal é caracterizável quanto ao modelo de contratação subjacente, sendo essa análise particularmente mais sensível a partir de 2007, quando os agentes portugueses passaram a poder participar no mercado *spot* do MIBEL. A esmagadora parte dos volumes negociados do lado da oferta desde essa data é colocada no mercado *spot* (MIBEL, 2009).

Por outro lado, a contratação bilateral engloba a execução dos contratos resultantes dos leilões de libertação de capacidade, aparecendo, do lado da oferta, as entidades que libertam capacidade pelos valores de energia correspondentes ao exercício da opção contratual deste instrumento. Essa situação é evidenciada pela composição da oferta na contratação bilateral, claramente centrada na *REN Trading* e na EDP (entidades que libertam capacidade).

2.3.5 Modelo Misto

Este tipo de modelo é uma combinação do modelo *pool* e do modelo de CBF, sendo um modelo de mercado misto em que a participação em bolsa não é obrigatória. O modelo misto aumenta as opções de compra de energia dos agentes consumidores, permitindo que estes façam escolhas que se adaptem melhor às suas necessidades individuais, adquirindo a energia que pretendem na bolsa e pagando o preço estabelecido por mercado, ou negociando a energia directamente com fornecedores e efectuando CBF, possibilitando assim a sua protecção à volatilidade dos preços do mercado *pool*.

Neste tipo de modelo, tal como na *pool*, existe um operador de mercado responsável pelas transacções na bolsa de energia eléctrica, e um operador de sistema responsável pela verificação da viabilidade técnica do despacho provisório resultante da bolsa de energia, e pela verificação da viabilidade dos acordos realizados através de CBF.

O operador de sistema recebe a informação das transacções da bolsa de energia e dos contractos bilaterais físicos estabelecidos. Posteriormente, analisa as solicitações de utilização da rede e verifica a possibilidade de existência de congestionamentos, tendo em consideração as restrições de capacidade de transporte das redes. Se porventura existirem situações de congestionamento, o operador de sistema remete essa informação aos intervenientes, podendo ainda activar mercados de ajustes, recebendo propostas de incremento ou decréscimo de potência.

Actualmente, este é o modelo mais usual na generalidade dos países que liberalizaram o sector eléctrico, como é o caso de Portugal e Espanha (que constituem o MIBEL), e dos países que integram a *NordPool*.

2.4 Outros Participantes do Mercado Eléctrico

Vários participantes no mercado, desde companhias produtoras a consumidores de energia eléctrica, surgiram no âmbito da reestruturação do sector. Nesta secção descrevem-se as principais características das entidades que estão normalmente presentes nos mercados eléctricos reestruturados.

• **Companhias produtoras de electricidade**

São as companhias que detêm centrais produtoras de electricidade, ou que as representam no mercado. Estas companhias vendem electricidade através de mercados organizados em bolsa às entidades com as quais estabeleceram directamente contratos. Além disso, podem também transaccionar serviços de sistema.

Estas entidades devem garantir igualdade de tratamento a todos os outros participantes do mercado, sem qualquer tipo de discriminação, e não devem fixar preços ou usar contratos bilaterais para exercer poder de mercado. O seu principal objectivo consiste em maximizar o lucro. Para tal, podem optar por participar nos vários tipos de mercados e tomar decisões estratégicas com base nos riscos que estão dispostas a correr.

• **Empresas de Transporte**

Cabe-lhes o papel de construir (em caso de necessidade) gerir, manter e operar o sistema de transporte (sistema crucial nos mercados de energia eléctrica), assegurando a sua fiabilidade e segurança. Estas entidades transmitem a electricidade através de redes de muito alta tensão, desde os centros produtores até à sua entrega às empresas distribuidoras.

- **Empresas de Distribuição**

Entidades que estão incumbidas da operação, manutenção, expansão e segurança da rede de distribuição aos clientes finais.

- **Retalhistas**

São entidades que surgiram com a liberalização do mercado e têm licença legal para vender electricidade a retalho. Deste modo, compram energia eléctrica e outros serviços, que podem ser combinados em pacotes com determinadas características, e vendem-nos directamente aos consumidores finais, ou indirectamente através de Agregadores.

- **Agregador**

É uma entidade que agrega um grupo de consumidores. Agrupando-se, os consumidores podem vir a usufruir de melhores condições, nomeadamente preços mais baixos, uma vez que necessitam de maiores quantidades de energia eléctrica, e podem dotar-se de meios mais elaborados para gerirem as suas ofertas e curvas de consumo. Tanto os utilitários de energia eléctrica, como as empresas que gerem as próprias redes de energia, são forçados a reestruturar as suas operações de mecanismos verticalmente integrados para sistemas abertos ao mercado (Albadi e El-Saadany, 2008).

O agregador pode exercer a sua actividade como um intermediário entre os clientes e os retalhistas. Quando compra energia, para depois a revender aos seus clientes, está a actuar como retalhista e deve, naturalmente, ter licença para tal.

As empresas de produção, nomeadamente as de pequena dimensão e as que utilizam fontes de energia renováveis, podem ter também vantagens em agruparem-se em entidades agregadoras de produtores. As empresas que operam as redes têm a possibilidade de deslastrar, reduzir ou deslocar cargas, permitindo adiar o investimento em novas unidades de geração (Morais, 2010).

Um agregador tem, portanto, os seguintes objectivos fundamentais:

1. Ter em consideração as características legislativas e do sistema de potência do respectivo país e não a implementação técnica da Participação Activa dos Consumidores (ou *Demand Response*);
2. Integrar de forma mais activa o lado do consumo de energia (maior flexibilidade) e instalar sistemas de medição e de gestão energética, principalmente nos seguintes sectores: pequenos consumidores familiares ou comerciais e pequenos consumidores industriais;

3. Achar uma solução mais eficiente financeiramente, ao invés de aumentar a capacidade de geração ou de fortalecer as redes eléctricas;
4. Focar o seu negócio nos benefícios das suas relações com outros participantes do mercado, sejam eles regulamentados ou desregulamentados.

Vários processos de negócios podem ser encontrados dentro da empresa do agregador, como o processo de aquisição de clientes, processo de acordo, etc. Estes podem ser definidos de diferentes maneiras:

1. Estudar que consumidores darão participação activa lucrável;
2. Promover activamente este serviço junto dos consumidores;
3. Instalar dispositivos de controlo e comunicação no local;
4. Providenciar incentivos financeiros para com os consumidores.

O agregador pode-se especializar nos dois tipos de consumidores referidos acima. Tem de saber que tipo de legislação se aplica a cada um deles, bem como as suas expectativas e receios no que diz respeito ao serviço que lhe estará a prestar. Para além de cargas com diferentes características, o agregador pode também contratar geração distribuída e energia armazenada.

- **Corrector**

É uma entidade que actua no mercado como intermediário. Esta entidade não produz, nem compra ou vende electricidade, apenas facilita as transacções entre vendedores e compradores.

- **Comercializador**

É uma entidade que compra e vende energia eléctrica, mas não dispõe de meios de produção de energia eléctrica. Dispõe de licença para transaccionar serviços de electricidade no mercado, podendo actuar tanto no mercado grossista como no mercado retalhista.

- **Consumidores**

Os consumidores estão ligados à rede de distribuição em baixa tensão (pequenos consumidores), e directamente à rede de distribuição em MAT, ou ainda à rede de transporte, quando se trata de consumidores com potências elevadas ou grandes consumidores com necessidades especiais, como é o caso de certos clientes industriais, da área química ou siderúrgica.

Num mercado de energia liberalizado, os consumidores não estão obrigados a comprar a energia a uma determinada entidade, tendo a possibilidade de estabelecer contratos com qualquer fornecedor de electricidade que actue nesse mercado. Inicialmente, apenas os consumidores elegíveis, entendendo-se este conceito como estando associado a um valor mínimo de potência instalada ou a um consumo mínimo anual de energia eléctrica, podiam comprar energia eléctrica no mercado ou através de contratos bilaterais.

2.5 Conclusão

De uma forma geral, com a reestruturação do sector eléctrico pretende-se alterar as regras de funcionamento de modo a permitir obter uma maior eficiência e uma competitividade acrescida, que potencialmente satisfaça todos os intervenientes, desde a produção ao consumo.

De facto, as recentes e crescentes modificações no sector eléctrico tornam os mercados de electricidade um caso de estudo actual, muito interessante, na medida em que o desenvolvimento de ferramentas de análise que permitam avaliar a evolução do seu comportamento face à dinâmica das suas constantes transformações é, à partida, uma vantagem para tais mercados (ver capítulo 3).

No presente capítulo, foram indicadas as entidades presentes nos mercados de energia eléctrica e descreveram-se as suas principais características e funções. Também se descreveu resumidamente a reestruturação do sector eléctrico a nível mundial, tendo a ênfase sido colocada no processo que ocorreu na Europa e Península Ibérica.

Foi feito o levantamento dos modelos e entidades dos mercados eléctricos reestruturados. Dos diferentes modelos de mercado actuais, destacam-se os contratos bilaterais. Este modelo tem a vantagem de permitir uma maior segurança em relação à estabilidade dos preços, pois possibilita que se mantenha o mesmo preço de energia durante longos períodos de tempo (seis ou mais meses), evitando a exposição à volatilidade dos preços de mercado. No entanto, apresenta algumas desvantagens, como por exemplo, não contribuir para um despacho optimizado.

3

Agentes Autónomos e Sistemas Multi-Agente

Este capítulo apresenta as áreas que constituem a base para o desenvolvimento de um simulador de negociação utilizando agentes autónomos. O capítulo começa por descrever o que são agentes computacionais, apresentando-se alguns dos tipos de agentes existentes. Posteriormente, o capítulo apresenta os sistemas multi-agente, as suas vantagens e as características da negociação efectuada pelos mesmos, bem como as dificuldades com que os programadores se deparam frequentemente, quer no desenho do sistema pretendido, quer na coordenação e comunicação entre os agentes autónomos. De seguida, são listadas algumas plataformas computacionais que estão na base dos sistemas multi-agente. Estas plataformas também estão incluídas em alguns dos simuladores que irão ser apresentados na última secção deste capítulo, e que utilizam os contratos bilaterais como modelo de mercado.

3.1 Introdução

O processo de reestruturação do sector eléctrico coloca diversos desafios exigindo a alteração dos modelos conceptuais que têm dominado o funcionamento do sector. Com a reestruturação, o mercado tornou-se mais aberto e competitivo, mas também mais complexo, colocando novos desafios aos intervenientes. A crescente complexidade e imprevisibilidade da evolução do mercado torna cada vez mais difícil a tomada de decisões. Deste modo, as entidades intervenientes vêm-se forçadas a repensar o seu comportamento e as suas estratégias de mercado (Pereira, 2004).

São várias as questões que se colocam no âmbito dos mercados eléctricos reestruturados, sendo por isso bem vindo o desenvolvimento de aplicações de análise e apoio à decisão. Por um lado, são múltiplas as questões relativas ao relacionamento comercial entre as diversas entidades. Por outro lado, são cada vez mais complexas as questões de ordem técnica que se prendem com a operacionalidade do sistema eléctrico, nomeadamente no que diz respeito às redes de transporte e distribuição. O relacionamento comercial entre as várias entidades tem sofrido alterações significativas. Não só pelas diferentes regras que actualmente regem os mercados, como por exemplo, o aparecimento dos chamados mercados bolsistas ou em bolsa, mas também com a alteração do papel de algumas entidades e o aparecimento de outras.

Relativamente às causas de evolução do comportamento estratégico das entidades intervenientes no mercado, convém realçar as que resultam da passagem de um regime essencialmente monopolista para a implantação de mecanismos de mercado, onde o comportamento tem que ser repensado e substancialmente alterado.

Assim, as entidades produtoras de electricidade, que em muitos casos detinham um monopólio local, regional ou mesmo nacional, ao planearem o seu funcionamento e ao definirem a sua estratégia de mercado, terão que continuar a ter em consideração a procura prevista e considerar, além disso, a presença e o comportamento de outras entidades produtoras que com elas passaram a poder competir.

A este nível, ferramentas que permitam a simulação de várias estratégias, num ambiente que inclua a presença de entidades competidoras, com o seu próprio comportamento estratégico, face a vários cenários de procura e diferentes modelos de mercado, são muito úteis para lidar com as novas regras

de mercado. Assim, surgem decisões que anteriormente estavam limitadas. Algumas dessas decisões dizem respeito a:

- Critérios a considerar na escolha do fornecedor, efectuando um contrato bilateral, tais como o preço ou a qualidade de serviço;
- Avaliação da oferta de serviços de valor acrescentado, uma vez que no contexto dos mercados reestruturados tem surgido a oferta deste tipo de serviços, para além da simples transacção de energia eléctrica.

Os sistemas de energia eléctrica são precisamente um dos domínios para o qual os Sistemas Multi-Agente (SMAs) se revelam adequados. O uso da tecnologia multi-agente, baseada em agentes autónomos, revela-se adequado por uma série de factores que se prendem essencialmente com as motivações e as vantagens no que diz respeito ao estudo de sistemas distribuídos, sendo de realçar:

- *Abertura*: quando os componentes do sistema não são conhecidos à partida, podem variar ao longo do tempo ou são bastante heterogéneos;
- *Complexidade*: quando o domínio é alargado, sofisticado ou imprevisível, no sentido de que a melhor forma de ser abordado é através do desenvolvimento de componentes especializados em determinados aspectos, necessitando, neste caso, os agentes de interagir de forma a assegurar que as suas dependências são geridas de forma adequada;
- *Distribuição de dados, controlo, conhecimento ou recursos*: quando o domínio envolve um certo número de entidades que estão física ou logicamente distribuídas e que necessitam de interagir umas com as outras. A tecnologia multi-agente constitui uma forma natural de modelizar o problema;
- *A possibilidade de integração de aplicações pré-existentes*: por exemplo, como funcionalidades de um agente.

Como se pode verificar na secção 3.2, os SMAs são essencialmente redes de agentes computacionais que interagem para resolver problemas que estão para além das capacidades individuais de cada agente. No centro do projecto e da operação efectiva de um SMA estão um conjunto de problemas e questões, incluindo o problema de projecto e o problema de coordenação (ver as secções 3.3.1 e 3.3.2, respectivamente).

3.2 Agentes Autónomos

O estudo de agentes autónomos tem aumentado bastante ao longo dos últimos anos. Os agentes autónomos estão a ser estudados pelos investigadores de inteligência artificial, bem como pelos investigadores de diversas disciplinas relacionadas com a inteligência artificial, incluindo a ciência da computação e a robótica.

Os agentes autónomos estão também a começar a ser utilizados em diversas aplicações comerciais e industriais, sendo de realçar a gestão da informação, o comércio electrónico, e as cadeias industriais de produção-distribuição. Os principais aspectos teóricos e práticos inerentes ao estudo e desenvolvimento de agentes autónomos são vulgarmente agrupados em três grandes áreas (Lopes, 2004):

1. *teorias*: são essencialmente especificações dos agentes. Esta área envolve os aspectos relacionados com o desenvolvimento de formalismos matemáticos para representar os agentes e as suas propriedades;
2. *arquitecturas*: são essencialmente conceptualizações e realizações dos agentes. Esta área envolve os aspectos relacionados com a modelação e desenvolvimento de sistemas computacionais que, idealmente, satisfaçam as propriedades especificadas pelas teorias;
3. *linguagens*: são essencialmente linguagens de programação para desenvolver e realizar experiências com agentes. Esta área envolve os aspectos relacionados com o desenvolvimento de ferramentas para programar agentes que englobem parte, ou a totalidade, dos princípios propostos pelas teorias.

Este capítulo descreve as principais arquitecturas de agentes autónomos. A descrição das teorias e linguagens existentes está fora do âmbito desta dissertação. Em termos genéricos, agentes autónomos são sistemas computacionais que estão situados num dado ambiente e são capazes de efectuar acções autónomas nesse ambiente, com o fim de satisfazer os seus objectivos de projecto (Wooldridge, 1999). A figura 3.1 ilustra a interacção entre um agente e o ambiente onde este está inserido. Deste modo, a arquitectura base de um agente autónomo envolve os seguintes componentes:

- (i) sensores;
- (ii) componente central;
- (iii) actuadores.

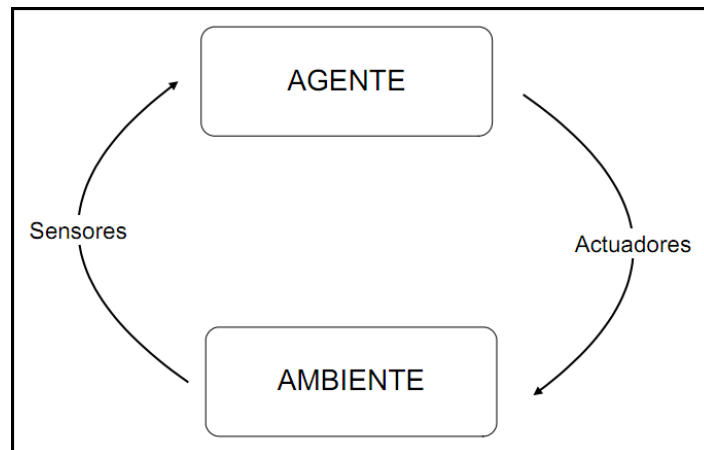


Figura 3.1: Interação Agente \leftrightarrow Ambiente (Wooldridge & Jennings, 1995).

Os sensores transmitem dados do ambiente ao componente central. O componente central comunica acções aos actuadores, cuja execução afecta o ambiente. Estes três componentes dependem, como é óbvio, do tipo de agente com que estamos a trabalhar.

A inteligência artificial distribuída surge no início dos anos 80, como um novo ramo de actuação da inteligência artificial, no qual se estabelece a ligação com os sistemas distribuídos.

Segundo Davis, a inteligência artificial distribuída tem como objectivo a resolução de problemas para as situações nas quais um único solucionador de problemas, uma única máquina, ou uma única localização computacional, não parecem apropriadas. Deste modo, ao conceito de sistema inteligente centralizado, comum até ao final dos anos 70, sucede o conceito de agente inteligente, o qual está inserido num sistema distribuído. No contexto da inteligência artificial, não existe na literatura uma definição comum para a definição de agente.

A inteligência artificial distribuída engloba duas áreas: a resolução distribuída de problemas e os SMAs (ver figura 3.2). Os SMAs permitem modelar o comportamento de um conjunto de entidades, designadas agentes, com mais ou menos inteligência, e mais ou menos organizadas de acordo com leis do tipo social (ver secção 3.3.4).

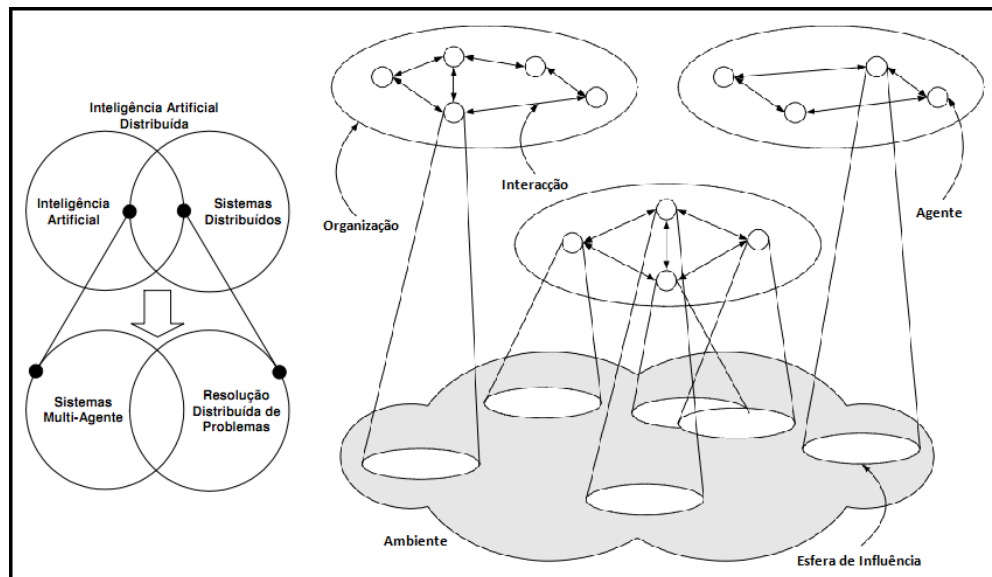


Figura 3.2: Inteligência Artificial Distribuída (à esquerda) vs. Sistemas Multi-Agente (à direita).

Contudo, apesar das várias definições existentes, algumas das características geram consenso, como por exemplo, a capacidade sensorial sobre o ambiente envolvente, a capacidade de interagir e reagir sobre o mesmo ambiente, a autonomia, e as capacidades sociais, de modo a permitir a interacção com outros agentes.

É possível identificar um conjunto de características ou propriedades que os agentes podem possuir (Wooldridge, 1999):

- *Autonomia*: a autonomia é um conceito um tanto ou quanto complicado para ter uma base sólida ou, pelo menos, para ter uma definição própria, mas o caminho que se quer seguir é no sentido de que os agentes operam sem intervenção de seres humanos ou outros agentes, e têm controlo sobre as suas próprias acções e sobre o seu estado interno. Os agentes devem ser concebidos de modo a não bloquearem, mesmo quando ocorram falhas de informação;
- *Capacidade Social*: os agentes interagem uns com os outros, e possivelmente com humanos, através de uma linguagem de comunicação;
- *Reactividade*: os agentes têm percepção do que ocorre no seu ambiente e respondem em tempo útil às mudanças que nele vão ocorrendo;
- *Pró-actividade*: os agentes não se limitam a responder às alterações do seu ambiente, mas possuem objectivos e exibem comportamento oportunista, sendo capazes de tomar a iniciativa;
- *Mobilidade*: o agente possui capacidade de se movimentar entre sistemas computacionais diferentes;

- *Capacidade Sensorial*: o agente dispõe de sensores para captar informação sobre o meio envolvente;
- *Veracidade*: o agente não deverá comunicar propositadamente informação falsa;
- *Benevolência*: o agente não deverá possuir objectivos contraditórios, tentando sempre fazer o que lhe foi pedido;
- *Racionalidade*: o agente deverá actuar racionalmente de modo a alcançar os seus objectivos, e não de modo a evitar que sejam atingidos;
- *Persistência*: os agentes possuem continuidade temporal, sendo processos em execução contínua e não uma forma de computação isolada;
- *Aprendizagem*: o agente é capaz de adquirir conhecimento e alterar o seu comportamento com base em experiências anteriores;
- *Flexibilidade*: o agente não necessita que as suas tarefas estejam pré-definidas;
- *Carácter*: os agentes possuem personalidade credível e comportamento emocional.

Embora seja difícil encontrar um agente que possua todas as propriedades citadas, algumas delas são determinantes no estabelecimento do conceito de agente. Há quem apresente mesmo duas noções para o conceito de agente. A noção fraca, em que um agente é visto como um paradigma de automação da cooperação em ambientes distribuídos, sendo definido pelas suas propriedades de autonomia, capacidade social, reactividade, e pró-actividade. E a noção forte, em que um agente é visto como uma entidade cognitiva e com consciência, capaz de exhibir sentimentos, percepções e emoções.

3.2.1 Tipologia de Agentes

São identificadas várias categorias de agentes (com base em diferentes arquitecturas¹). Estas categorias podem ainda ser classificadas segundo dois factores:

- Quanto à mobilidade os agentes podem ser de dois tipos:

1. *Agentes Móveis*: são agentes que possuem a capacidade de se movimentar entre ambientes computacionais distintos;

¹A arquitectura de um agente determina a sua estrutura interna, definindo os módulos que estarão envolvidos nas várias tarefas e como esses módulos interagem entre si com vista a operarem no ambiente sobre o qual interagem (Pereira, 2004).

2. *Agentes Estacionários*: são os que se encontram restritos a um ambiente computacional, do qual não podem migrar.

A mobilidade não se prende com o facto dos dispositivos serem móveis ou estacionários, uma vez que é possível ter agentes móveis numa rede de *desktops* e um agente estacionário num *PDA* móvel ligado à rede sem fios.

- Quanto ao seu comportamento os agentes podem ser, segundo (Wooldridge & Jennings, 1995):
 1. *Agentes Deliberativos*: mantêm uma representação interna do ambiente que os rodeia, através de um estado mental explícito que pode ser modificado através de raciocínio simbólico;
 2. *Agentes Reactivos*: agem de acordo com a percepção que têm do ambiente que os rodeia, através da invocação de um conjunto de regras de percepção/reacção;
 3. *Agentes Híbridos*: combinam as características das duas abordagens anteriores, nomeadamente as capacidades deliberativa e reactiva.

3.2.1.1 Agentes Deliberativos

Este tipo de agente baseia-se nas organizações sociais humanas tais como hierarquias, grupos e mercados. Este é definido como um agente racional que contém uma representação explícita de conhecimentos e objectivos (ver exemplo de uma arquitectura deliberativa na figura 3.3).



Figura 3.3: Arquitectura Deliberativa (Wooldridge & Jennings, 1995).

As principais características dos agentes deliberativos são:

- Representação explícita do ambiente e dos outros agentes da sociedade;
- Poderem manter um histórico das interacções e das acções já passadas e, graças a essa memória, serem capazes de planear as suas acções futuras;
- Possuírem um sistema de percepção que permite examinar o ambiente;
- Possuírem um sistema de comunicação que permite a troca de mensagens;
- Raciocinarem e decidirem sobre quais as acções que devem ser executadas, que planos seguir e que objectivos devem alcançar.

Neste tipo de agentes, é possível distinguir os agentes BDI, que se descrevem de seguida.

Agentes BDI

As ideias básicas da abordagem *Belief-Desire-Intention* (BDI) são as seguintes:

1. Descrever o processo interno de um agente utilizando o seguinte conjunto de estados mentais: *crenças, objectivos e intenções*;
2. Definir uma arquitectura de controlo através da qual o agente possa seleccionar as suas acções.

Além destes componentes, algumas arquitecturas BDI usam o conceito de plano. Planos são um conjunto de tarefas que devem ser seguidas, quando gerada uma intenção, para a realização dessa intenção. A referência relativa ao conhecimento do agente, embora não seja citada explicitamente no modelo, é válida. A razão está assente no facto desse modelo se preocupar com o aspecto comportamental do agente, tomando como pressuposto básico a existência de um “conhecimento” sobre o qual o agente vai trabalhar, ou seja, como realizar certas tarefas ou acções. Ao projectar um agente baseando-se no modelo BDI, são especificadas as suas crenças e os seus desejos, mas a escolha das intenções fica sob a responsabilidade do próprio agente, isto é, de uma auto-análise desses estados inicialmente disponíveis (ver figura 3.4).

O problema no raciocínio prático de um agente consiste em alcançar um balanço entre estes conceitos diferentes, principalmente no que se refere ao abandono de intenções. Às vezes é necessário que um agente deixe de considerar uma intenção, porém as reconsiderações têm um custo computacional.

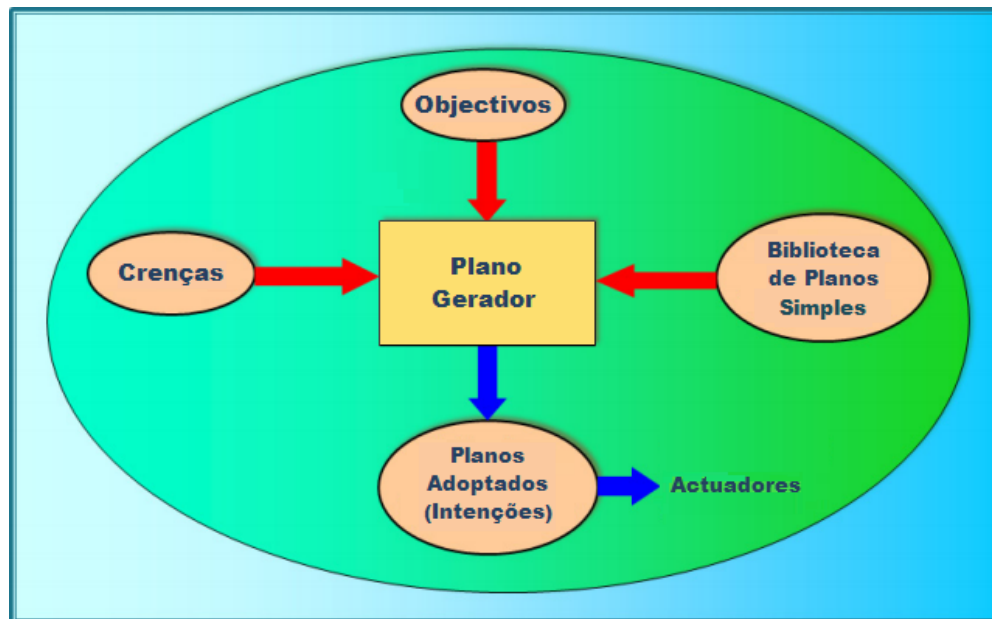


Figura 3.4: Agente baseado em crenças, objectivos e intenções (Lopes et al., 2010).

Cada agente tem as seguintes características chave (Lopes et al., 2010):

- *Um conjunto de crenças:* representam informação sobre o mercado e o próprio agente;
- *Um conjunto de objectivos:* representam estados do mundo a serem alcançados;
- *Uma biblioteca de planos simples:* representam procedimentos simples para atingir os objectivos. Um plano é constituído por um cabeçalho e um corpo. O cabeçalho define um nome para o plano. O corpo especifica tanto a decomposição de um objectivo em sub-objectivos mais detalhados (como alguma computação numérica);
- *Um conjunto de planos,* para execução imediata ou num futuro próximo. Um plano é uma colecção de planos simples estruturados de forma hierárquica e temporal numa estrutura em “árvore”.

3.2.1.2 Agentes Reactivos

Os agentes reactivos não modelam o mundo que os rodeia, baseando-se em estímulos e execução de acções. São agentes simples que executam acções com base nos eventos que ocorrem (ver figura 3.5).

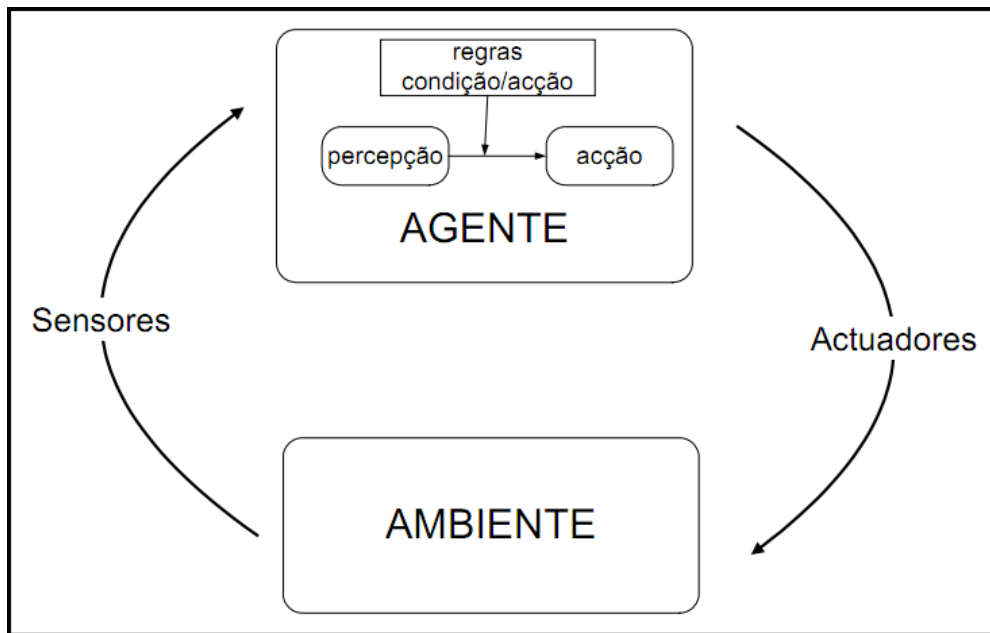


Figura 3.5: Arquitectura Reactiva (Wooldridge & Jennings, 1995).

As suas principais características são:

- O comportamento (resposta) de cada agente é baseado no que ele percebe (estímulo) em cada instante;
- Não mantêm nenhum histórico das suas acções, ou seja, o resultado de uma determinada acção anterior não influencia directamente a decisão de uma acção futura.

3.2.1.3 Agentes Híbridos

A escolha das acções é realizada utilizando uma combinação de técnicas de arquitecturas deliberativas e reactivas. Esta arquitectura foi proposta como uma alternativa para solucionar as deficiências deliberativas ou cognitivas² (incapacidade de reacção rápida e adequada a situações não previstas) e reactivas (incapacidade de descobrir alternativas para o seu comportamento quando a situação do mundo diverge dos seus objectivos).

Os agentes híbridos utilizam um planeamento de alto nível de abstracção numa fase de pré-processamento, enquanto as decisões sobre alternativas de refinamento menos significativas são tratadas por sistemas reactivos (ver figura 3.6).

²Em alguma literatura sobre agentes autónomos, agentes do tipo deliberativo são muitas vezes chamados de agentes cognitivos.

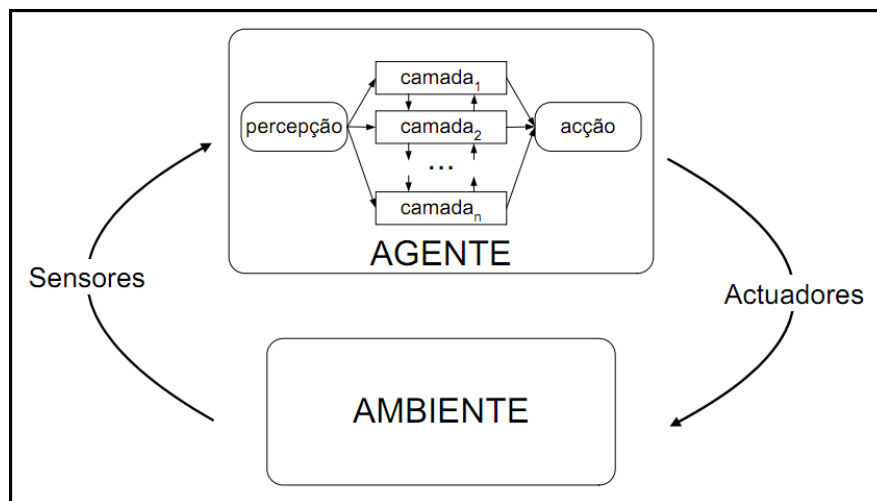


Figura 3.6: Arquitectura Híbrida (Wooldridge & Jennings, 1995).

3.3 Sistemas Multi-Agente

Os Sistemas Multi-Agente (SMAs) são sistemas compostos por múltiplos agentes, que exibem um comportamento autónomo e interagem com outros agentes presentes no sistema.

Estes agentes exibem duas características fundamentais: são capazes de agir de forma autónoma tomando decisões que levam à satisfação dos seus objectivos e, no caso presente, capazes de interagir com outros agentes utilizando protocolos de interacção social inspirados nos seres humanos (ver secção 3.3.3).

Os SMAs constituem um campo relativamente novo nas ciências da computação. Embora o início da investigação neste campo tenha ocorrido nos anos 80, só em meados dos anos 90 esta ganhou uma notoriedade digna de destaque (Wooldridge, 1999). Ao longo dos últimos anos, a investigação no campo dos SMAs tem sofrido um crescimento acentuado. Este crescimento levou ao aparecimento de revistas, livros e conferências internacionais sobre o assunto. Conduziu também ao aparecimento de uma rede europeia de excelência para computação baseada em agentes—*AgentLink*—com o objectivo de promover e coordenar a investigação realizada nesta área na Europa.

A investigação científica e a implementação prática de SMAs está focalizada na construção de padrões, princípios e modelos que permitam a criação de pequenas e grandes sociedades de agentes semi-autónomos, capazes de interagir convenientemente de forma a atingirem os seus objectivos. Um dos pontos essenciais à construção de sociedades de agentes consiste em gerir as interacções e as dependências das actividades dos diferentes agentes no con-

texto do SMA, isto é, coordenar esses agentes. Desta forma, a coordenação desempenha um papel essencial nos SMAs porque estes sistemas são inerentemente distribuídos. Aliás, o tema designado genericamente por coordenação constitui um dos maiores domínios científicos da informática e ciências da computação. Trabalhos científicos abrangidos por este domínio incluem frequentemente aspectos conceptuais e metodológicos, mas também implementacionais, de forma a terem em conta o desenvolvimento de aplicações informáticas distribuídas.

Neste contexto, assumem particular relevância as metodologias que permitem definir uma organização estrutural da sociedade de agentes, a definição e troca de papéis, a definição e alocação de tarefas e o planeamento conjunto multi-agente. Os SMAs incluem diversos agentes que interagem ou trabalham em conjunto, podendo compreender agentes homogéneos ou heterogéneos. Cada agente é basicamente um elemento capaz de resolução autónoma de problemas e opera assincronamente, com respeito aos outros agentes.

3.3.1 O Problema de Projecto

O problema de projecto ou de desenho diz respeito ao domínio do sistema e destina-se a modelá-lo de forma distribuída, isto é, um mercado de energia eléctrica desregulamentado envolvendo um mercado grossista e um mercado de retalho. Numa vertente prática, o papel de um mercado grossista é permitir o comércio entre geradores e retalhistas, tanto a curto prazo, como para prazos de entrega futura de electricidade. O papel de um mercado de retalho é o de permitir o comércio entre os consumidores de energia e os retalhistas (Lopes et al., 2010). Assim, consideramos três tipos de agentes (dos diversos já apresentados na secção 2.4):

1. *Agentes geradores ou produtores*: Representam empresas da área e operam num mercado grossista. Estes vendem electricidade ao mercado de retalho;
2. *Agentes retalhistas ou fornecedores de electricidade*: Representam retalhistas e operam em ambos os mercados acima referidos. Compram energia num mercado grossista e vendem para um mercado retalhista;
3. *Agentes consumidores ou de cliente*: Representam consumidores finais e operam num mercado de retalho. Compram energia ao mercado de retalho.

Conceptualmente, os agentes a modelizar serão do tipo deliberativo (BDI) (secção 3.2.1.2).

3.3.2 O Problema de Coordenação

O conceito de coordenação é intuitivo, representando a existência de relações de dependência, relacionadas com o facto dos agentes necessitarem uns dos outros por forma a poderem satisfazer os seus objectivos. Define-se, deste modo, quatro relações básicas de dependência:

- *Independência*: Não existe qualquer tipo de dependência entre os agentes;
- *Unilateral*: Um agente depende do outro mas a relação inversa não se verifica;
- *Mútua*: Ambos os agentes dependem do outro para atingirem os seus próprios objectivos;
- *Dependência recíproca*: Um agente depende de outro para um dado objectivo e esse agente depende do primeiro para outro objectivo (não necessariamente o mesmo).

Wooldridge (1999) denota que uma relação é localmente acreditada se um agente acredita que a relação existe mas não acredita que o outro agente acredita que ela existe. Uma relação mutuamente acreditada existe quando um agente acredita que a relação existe e acredita também que o outro agente a reconhece.

Existem cinco razões principais para a necessidade de coordenar as acções de múltiplos agentes:

- Dependências nas acções dos agentes;
- Necessidade que o conjunto de agentes respeite restrições globais;
- Falta de recursos, informação ou capacidade suficiente para executar uma tarefa ou resolver um problema completo;
- Eficiência;
- Prevenção da anarquia e do caos.

O problema da coordenação consiste em assegurar que os agentes agem de forma coordenada, a fim de alcançarem efectivamente os seus objectivos individuais. De facto, os agentes autónomos computacionais que operam num mundo comum, serão inevitavelmente confrontados com conflitos sociais, tal

como acontece com os agentes humanos. A negociação é o processo predominante para a resolução de conflitos (ver a secção 3.3.3).

No presente trabalho, este problema é abordado, pelo menos em parte, através da concepção de agentes capazes de coordenarem as suas actividades por meio da negociação.

3.3.3 Negociação entre Agentes Computacionais Autónomos

A negociação é uma forma de tomada de decisão onde dois ou mais intervenientes pesquisam em conjunto o espaço de soluções possíveis para um dado problema, com o objectivo de atingirem uma solução comum e aceitável para as partes interessadas (Pereira, 2004).

Dois componentes fundamentais de um sistema de negociação automática são o protocolo de negociação e as estratégias de negociação. O protocolo de negociação define as regras de interacção entre os intervenientes (ver a figura 3.7). A estratégia de negociação é o plano de acção que um agente irá utilizar durante a negociação. É normal existirem várias estratégias para um mesmo protocolo de negociação, cada uma podendo produzir resultados diferentes.

Estratégias com bom desempenho num determinado protocolo de negociação poderão não ter tal desempenho perante outro protocolo. A escolha da estratégia de negociação depende, por isso, não só do cenário de negociação mas também do protocolo usado. São vários os parâmetros a ter em conta na caracterização da negociação e definição de um protocolo de negociação. No capítulo 4 abordam-se alguns desses parâmetros.

Numa negociação real, para além do processo da negociação, existem vários pontos importantes a destacar. Um processo de pré-negociação, que aborda a tarefa estratégica de preparação e planeamento da negociação. Um processo de resolução de impasses, que conta com a ocorrência e resolução de impasses. Finalmente, um processo de renegociação, que aborda a tarefa de análise e melhoria de um acordo final (ver a figura 3.7). Pré-negociação é o processo de preparação e planeamento da negociação e envolve principalmente a criação de um plano bem definido especificando as actividades que os negociadores devem executar antes de começarem a negociar (Lopes et al., 2010). Mais especificamente, os negociadores que se prepararem cuidadosamente fazem esforços para realizar uma série de actividades, incluindo:

1. Definição dos itens e da agenda negocial;
2. Definição dos limites e dos objectivos;
3. Selecção de um protocolo adequado.

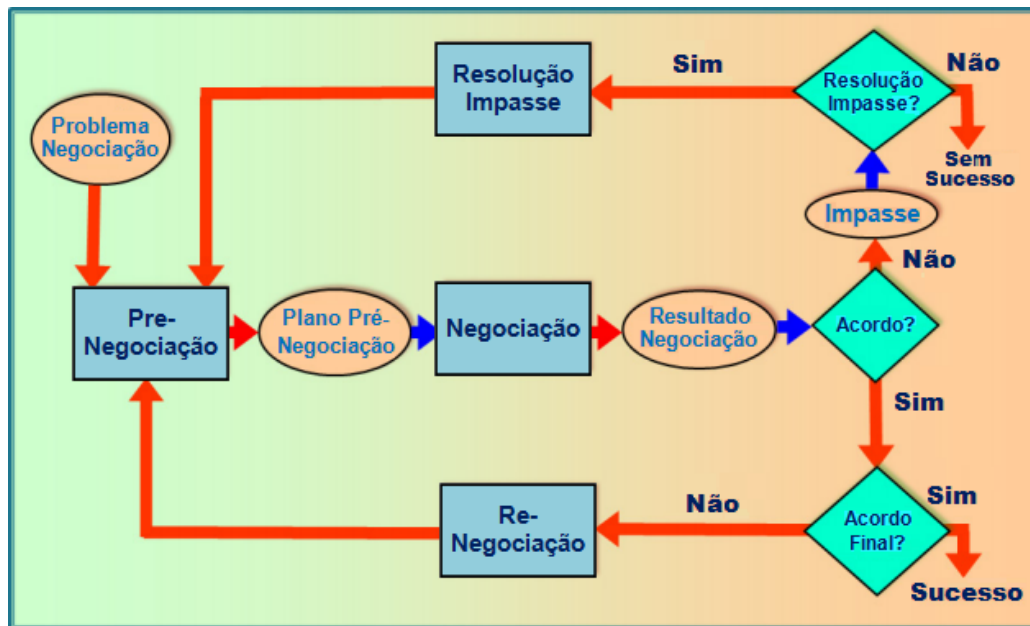


Figura 3.7: Estrutura de negociação automatizada (Lopes et al., 2010).

Uma preparação e um planeamento eficazes requerem que os negociadores assumam como prioridades os devidos itens de negociação e definam a agenda negocial. A definição de prioridades envolve usualmente duas etapas: (i) determinar quais os itens que são mais e menos importantes, e (ii) determinar se os itens estão ligados ou separados.

Os negociadores devem reunir todos os itens numa lista compreensível. A combinação de listas de cada lado na negociação determina a agenda negocial, isto é, o conjunto final de itens a serem deliberados. Essa tarefa envolve muitas vezes interacção com o adversário, ou seja, cada negociador divulga a sua lista de itens, a fim de chegar a um acordo sobre o que será discutido durante a negociação real.

Uma preparação e um planeamento eficazes também exigem que os negociadores definam dois pontos-chave para cada item em questão: (i) o ponto de resistência ou limite, onde cada negociador decide parar a negociação ao invés de continuar, porque qualquer acordo para além deste ponto não é minimamente aceitável, e (ii) o ponto alvo ou nível de aspiração, onde cada negociador espera, na realidade, alcançar um acordo.

3.3.4 Comunicação Entre Agentes

Como referido no capítulo 1, o simulador terá dois agentes computacionais, um agente vendedor (ou retalhista) e um agente comprador (que terá o papel de um consumidor final). Cada agente comunica através do envio

e recepção assíncronos de mensagens. Em termos gerais, as mensagens podem ser dirigidas a um único agente (troca de mensagens ponto-a-ponto) ou a um grupo de agentes (troca de mensagens multiponto, ou difusão geral de mensagens). No caso específico deste trabalho, a comunicação será uma comunicação ponto-a-ponto.

Em termos computacionais, no caso da arquitectura dos agentes ser do tipo BDI, considera-se vulgarmente que a emissão de mensagens afecta o estado mental dos agentes emissores e receptores dessas mensagens, isto é, as suas crenças, objectivos e intenções. O estudo deste efeito sai, no entanto, do âmbito do presente trabalho.

A *Foundation for Intelligent Physical Agents* (FIPA) é uma organização padrão da *IEEE Computer Society* que promove a tecnologia baseada em agentes e a interoperabilidade das suas normas com outras tecnologias (FIPA, 2012). Esta foi originalmente formada como uma organização para produzir as especificações padrões de *software* para agentes heterogéneos e interactivos. Desde a sua fundação, a FIPA tem desempenhado um papel crucial no desenvolvimento de agentes padrão e promoveu uma série de iniciativas e eventos que contribuíram para o desenvolvimento e para a utilização deste tipo de tecnologia. Além disso, muitas das ideias originadas e desenvolvidas pela FIPA estão agora em foco nas tecnologias de nova geração presentes actualmente na Internet.

As especificações FIPA estão de acordo com a linguagem de comunicação denominada de *Agent Communication Language* (ACL), ou mensagens ACL, com protocolos de interacção de troca de mensagens, com a teoria dos actos de fala e com representações de linguagem de conteúdo (ver a figura 3.8).

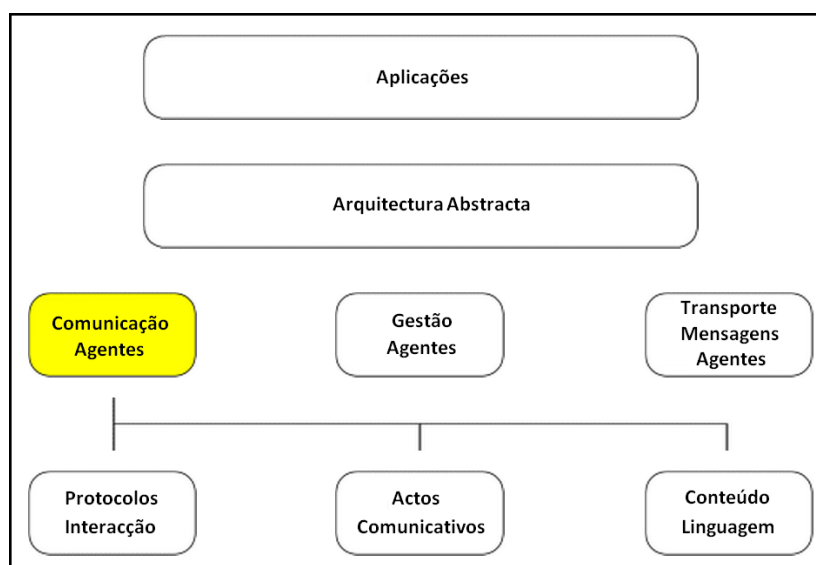


Figura 3.8: Posição da comunicação entre agentes nas especificações FIPA (FIPA, 2012).

3.4 Plataformas Computacionais para Sistemas Multi-Agente

Esta secção apresenta algumas plataformas baseadas em agentes, dando particular relevo ao JADE, por ter sido a plataforma utilizada no decorrer do presente trabalho.

3.4.1 *Java Agent DEvelopment Framework*

JADE é uma plataforma totalmente implementado na linguagem Java, que possibilita o desenvolvimento de SMAs. A plataforma pode envolver várias máquinas (que não precisam de partilhar o mesmo sistema operativo), sendo a sua configuração controlada por uma interface gráfica remota. Esta configuração pode ser mudada durante a execução, movendo agentes de uma máquina para outra. O único requisito para utilizar o JADE é a linguagem Java na sua versão SDK 1.4. JADE é um *software* livre e distribuído pela *Telecom Itália*.

O primeiro desenvolvimento de *software*, que eventualmente se tornou na plataforma JADE, foi iniciado pela *Telecom Itália* em 1998, motivado pela necessidade de validar as especificações FIPA. O código fonte foi aberto em 2000 e distribuído pela *Telecom Itália* com a licença *Lesses General Public License Version 2* (LGPL). Esta licença assegura todos os direitos básicos para facilitar a utilização do *software* incluído em produtos comerciais (Bellifemine et al., 2007).

Para facilitar o envolvimento da indústria no projecto de desenvolvimento do JADE, a *Telecom Itália Lab* e a *Motorola Inc.* definiram um acordo de colaboração e formaram o *JADE Governing Board* em Maio de 2003, uma organização sem fins lucrativos de empresas designadas para o desenvolvimento e promoção da plataforma JADE. Actualmente, fazem parte do *JADE Board* a *Telecom Itália*, *Motorola*, *Whitestein Technologies AG*, *Profactor GmbH*, bem como a *France Telecom R&D*.

Quando a plataforma JADE se tornou pública pela *Telecom Itália*, era utilizada quase exclusivamente pela comunidade FIPA, mas como as suas características cresceram para além das especificações FIPA, começou a ser distribuída para uma comunidade global de programadores. É interessante notar que o JADE contribuiu para a difusão das especificações FIPA, fornecendo um conjunto de ferramentas que “escondem” essas próprias especificações. Os programadores podem fazer implementações de acordo com as especificações sem precisar de as estudar. Isto é uma das principais qualidades do JADE, em relação à FIPA.

Uma das primeiras extensões do núcleo do JADE foi fornecido pelo LEAP, um projecto parcialmente financiado pela Comissão Europeia que contribuiu, entre 2000 e 2002, para transportar a plataforma JADE para o ambiente *Java Micro Edition* e *Wireless Network*. Hoje, a possibilidade de executar o JADE nas plataformas J2ME-CLDC e CDC é considerado como uma das características mais vantajosas do JADE.

3.4.2 JATLite

A plataforma *Java Agent Template Lite* (JATLite) foi desenvolvida na Universidade de Stanford e destina-se a facilitar a comunicação entre agentes heterogéneos e distribuídos, com recurso à linguagem de programação Java. A comunicação entre agentes é feita por troca de mensagens usando a linguagem KQML (KQML, 2012), e o protocolo TCP/IP.

A plataforma JATLite assenta num componente designado por *Agent Message Router* (AMR). Qualquer agente que pretenda pertencer ao sistema terá de se registar no AMR, através de um nome e uma palavra chave. O AMR gere todo o processo de encaminhamento de mensagens, recebendo mensagens do agente emissor e entregando-as ao respectivo agente receptor. Deste modo, o AMR é responsável por garantir a entrega de mensagens, mesmo que a rede de comunicação esteja temporariamente interrompida ou o agente receptor temporariamente inactivo. O AMR é também responsável por manter actualizados os endereços de todos os agentes do sistema.

3.4.3 OAA

A plataforma *Open Agent Architecture* (OAA) é uma ferramenta de investigação para a construção de sistemas baseados em agentes (Marques, 2008). Desenvolvida no Centro de Inteligência Artificial da *SRI Internacional*, a comunicação e cooperação entre os agentes são mediadas por facilitadores, responsáveis por responder aos pedidos dos utilizadores e dos agentes, com descrições das capacidades de outros agentes. Deste modo, não é necessário que um solicitador (usuário ou agente) conheça a identidade, localização ou o número de outros agentes envolvidos na satisfação de um pedido.

A *Interagent Communication Language* (ICL) é a linguagem de comunicação partilhada por todos os agentes, independentemente do computador em que são executados, ou da linguagem de programação em que são concebidos. Os agentes utilizam esta linguagem para realizar consultas, executar acções e trocar informações.

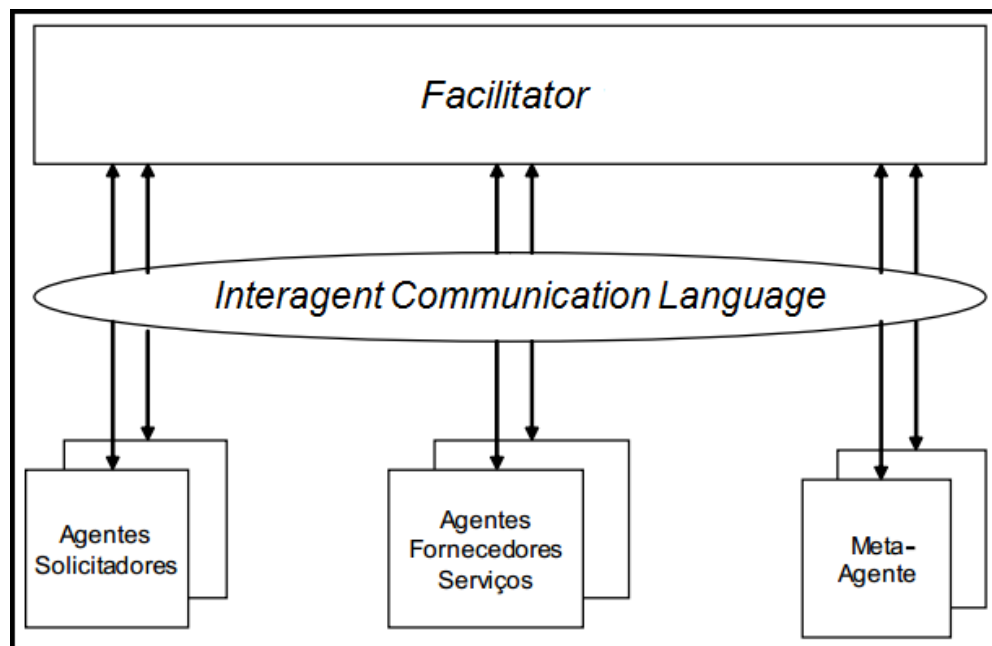


Figura 3.9: Estrutura de um Sistema OAA (OAA, 2012).

A figura 3.9 ilustra a estrutura típica de um sistema OAA. Os meta-agentes, cuja categoria é reconhecida apenas por convenção, não se distinguem formalmente neste tipo de sistema. O papel dos meta-agentes é o de ajudar o *Facilitator* no processo de coordenação dos vários agentes. Enquanto o *Facilitator* possui estratégias de coordenação independentes do domínio de aplicação, os meta-agentes aumentam as suas capacidades usando conhecimento e raciocínio específico à aplicação.

A plataforma OAA tem a vantagem de suportar agentes concebidos em diferentes linguagens de programação, como por exemplo Java ou C++, e agentes executados em diferentes sistemas operativos. Esta plataforma foi utilizada para desenvolver o simulador de mercados de electricidade competitivos MASCEM, referido na secção 3.5.2.

3.4.4 Repast

A plataforma *Recursive Porous Agent Simulation Toolkit* (Repast) é uma ferramenta para modelação e simulação de sistemas multi-agente amplamente utilizada, de acesso livre e de código aberto, com três implementações lançadas, designadas por Repast para Java (*Repast J*), Repast para Microsoft.NET (*Repast.Net*), e Repast para Python Scripting (*Repast Py*).

O Repast coloca a ênfase no comportamento social, não sendo limitado apenas aos aspectos sociais. Várias entidades têm utilizado a ferramenta Repast para desenvolver aplicações, que vão desde sistemas sociais, sistemas evolutivos, modelação de mercados, análise industrial, entre outros.

A ferramenta Repast foi utilizada para desenvolver o simulador de mercados grossistas de electricidade *Agent-Based Modelling of Electricity Systems* (AMES) e o simulador de mercados de electricidade *Electricity Market Complex Adaptive System* (EMCAS) (descrito na secção 3.5.1).

3.4.5 ZEUS

Trata-se de uma ferramenta que permite o desenvolvimento de aplicações multi-agente colaborativas, desenvolvida pela equipa de investigação em agentes inteligentes da *British Telecommunications Laboratories*.

ZEUS define uma abordagem para o desenvolvimento de sistemas multi-agente, suportada por um ambiente visual através do qual o utilizador efectua a especificação dos agentes, sendo posteriormente gerado o código Java de acordo com essas especificações. Esta plataforma suporta a linguagem FIPA-ACL, fornece ferramentas para desenvolvimento de ontologias, suporta vários mecanismos de coordenação entre agentes, fornece alguns agentes utilitários pré-definidos e permite que os agentes encapsulem sistemas pré-existentes. A comunicação entre os agentes é feita através de *sockets*, utilizando o protocolo TCP/IP.

A ferramenta ZEUS consiste numa série de componentes, escritos em linguagem Java, organizados em: Biblioteca de Componentes para Agentes, *Software* para Desenvolvimento de Agentes, e Agentes Utilitários. A Biblioteca de Componentes para Agentes fornece um conjunto base de classes para construção de agentes, que incluem aspectos relacionados com a comunicação, ontologia e coordenação dos agentes. Para facilitar o rápido desenvolvimento de aplicações multi-agente, o *Software* para Desenvolvimento de Agentes fornece um meio de desenvolvimento de aplicações que liberta o utilizador da complexidade da biblioteca de componentes para agentes. Para tal, fornece uma metodologia de criação de agentes, que guia o utilizador pelo processo de análise e desenvolvimento da sua aplicação, e que é suportada por um ambiente visual. Os Agentes Utilitários disponibilizados consistem em:

- *Nameserver*: mantem a identificação da sociedade de agentes;
- *Facilitator*: conhece as capacidades de cada agente, facilitando a descoberta de informação;
- *Visualiser*: agentes que podem ser usados para ver, analisar e testar sociedades de agentes.

Uma sociedade de agentes pode conter qualquer quantidade de cada um destes agentes, sendo no entanto necessário que contenha pelo menos um *Nameserver*.

3.5 Principais Simuladores Multi-Agente de Mercados de Electricidade

Ao longo dos últimos anos, a maior parte das contribuições na área dos sistemas multi-agente aplicados aos mercados de energia eléctrica surgiram sob a forma de simuladores complexos. Nesta secção, descrevem-se algumas das ferramentas baseadas em simulação multi-agente para o estudo dos mercados eléctricos num contexto de competitividade, realçando as suas principais características. Concretamente, descrevem-se cinco simuladores de mercados de energia baseados em agentes computacionais e sistemas multi-agente: EMCAS, MASCEM, NEMSIM, PowerACE e SEPIA.

3.5.1 EMCAS

O projecto EMCAS foi desenvolvido no *Argonne National Laboratory* (ANL), laboratório pertencente ao Departamento de Energia dos Estados Unidos, concretamente pela unidade de “Ciências da Informação e Decisão”.

Os autores do sistema começaram por apresentar um simulador do mercado eléctrico—*Spot Market Agent Research Tool* (SMART)—que evoluiu e deu origem ao EMCAS. O EMCAS possui agentes com capacidade de aprendizagem baseada em algoritmos genéticos, que representam geradores, intermediários, consumidores e operadores independentes do sistema. Os mecanismos de negociação vão desde contratos bilaterais até bolsas (dois tipos de leilão duplo: uniforme e discriminatório), estando o mercado de serviços de sistema também incluído.

Em relação ao simulador, este tem uma estrutura em que a gama temporal vai de horas até décadas, organizada em 6 escalas temporais ou níveis de decisão, que incluem despacho horário, bem como planeamento a vários anos. Existem vários tipos de agentes: entidades produtoras, entidades de transporte, entidades de distribuição, operadores independentes do sistema ou organizações regionais de transporte, consumidores e reguladores. Em cada nível de decisão, os agentes geram e formulam as suas estratégias de mercado.

Os contratos bilaterais são iniciados pelo agente que representa a procura, através da formulação de um *Request for Proposal*, com base nas necessida-

des dos consumidores que representa e na tolerância ao risco para exposição à volatilidade dos preços da bolsa. Os agentes que representam os produtores analisam os pedidos e formulam respostas, que incluem um preço para a totalidade ou parte da energia pedida. A resposta dos agentes é baseada nos preços previstos para a bolsa e para os contratos bilaterais, determinados através de uma análise da informação histórica do mercado e de previsões futuras. Os agentes que representam a procura analisam as respostas recebidas e aceitam as ofertas que maximizam a sua utilidade.

O comportamento dos agentes é função da sua tolerância ao risco. Esta tolerância é classificada em três níveis: “avesso ao risco”, “indiferente ao risco” e “favorável ao risco”, e é modelada usando uma função de utilidade multi-objectivo. Por exemplo, um agente avesso ao risco pode desprezar potenciais lucros em bolsa e optar por contratos bilaterais garantidos. O modelo de decisão dos agentes baseia-se na combinação de informação pública e de informação privada. Com base nessa informação, os agentes revêm as suas estratégias de mercado para a próxima ronda. O número de rondas de negociação é controlado pelo utilizador.

Os agentes que representam as entidades detentoras de unidades de produção incluem vários blocos, que representam diferentes tarefas ou acções. Cada agente irá organizar e parametrizar estes blocos de modo a maximizar a sua utilidade. Em particular, o agente que define o preço de mercado propõe no próximo período um preço ligeiramente superior, existindo um parâmetro que especifica a percentagem de modificação do preço. Os blocos podem ser combinados para definir novas estratégias.

O Agente Operador Independente de Sistema (OIS) é responsável por operar a rede de transporte, mantendo a segurança e fiabilidade. Este agente faz projecções para o dia seguinte: tempo, procura e capacidade disponível, que são disponibilizadas a todos os agentes do mercado. O simulador contém um módulo que simula os fluxos de transporte na rede operada pelo OIS, e permite reduzir a rede original a uma equivalente, constituída por várias zonas, dentro das quais assume não haver congestionamentos, simplificando todo o processo.

3.5.2 *Multi-Agent System that Simulates Competitive Electricity Markets (MASCEM)*

O MASCEM foi criado pelo Grupo de Investigação em Engenharia do Conhecimento e Apoio à Decisão (GECAD), dirigido pela Professora Zita

do Vale, do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

O MASCEM é um simulador multi-agente para o mercado eléctrico, desenvolvido através da plataforma OAA (ver secção 3.4.3), com base na linguagem de programação Java. Pretende-se com este simulador avaliar as decisões dos agentes de mercado, em particular dos agentes compradores de energia (isto é, consumidores e comercializadores), e dos agentes vendedores (isto é, produtores), por serem elementos chave no funcionamento do sistema eléctrico.

Sendo este um simulador de apoio à tomada de decisão, podem-se considerar dois tipos de mercado: *pool* e Contratos Bilaterais Físicos. Estes mercados podem funcionar em separado ou simultaneamente, não se contemplando em ambos os casos de congestionamento do sistema de transmissão.

O MASCEM inclui estratégias de licitação de venda de energia. Cada agente pode utilizar estratégias dinâmicas, que dependem do tempo, estratégias que dependem do comportamento, ou uma estratégia indicada pelo simulador, que tem em conta os resultados do dia anterior, bem como possíveis resultados de outros agentes e futuras reacções.

Esta estratégia utiliza informação histórica sobre o comportamento do mercado e sobre o comportamento e características de outros agentes, obtida através de técnicas de extracção de conhecimento (*Data Mining*), para construir uma grelha de resultados. Esta grelha é posteriormente analisada, através de conceitos da Teoria dos Jogos, como um jogo de estratégia-pura com dois jogadores, assumindo que cada jogador procura minimizar as perdas e maximizar o ganho.

3.5.3 NEMSIM

O sistema de simulação denominado de *National Electricity Market Simulation System* (NEMSIM) foi especialmente desenvolvido para o mercado de energia da Austrália, e permite vários tipos de negociação, nomeadamente mercados *pool* e contratos bilaterais.

O NEMSIM modela vários agentes computacionais autónomos, adaptáveis e com capacidade de aprendizagem, que representam a geração, produção e linhas de transporte de energia eléctrica. A sua tomada de decisão é motivada pelos seus objectivos, podendo ser afectada pelo comportamento de outros agentes, ou por alterações do ambiente do mercado.

Os objectivos deste simulador passam por:

- Testar e comparar várias estratégias de negociação para cada caso;
- Investigar os efeitos que as alterações do ambiente de mercado provocam nos agentes, tais como: aplicação de novas regras no mercado, eventos especiais, manutenção de linhas ou alteração de instalações.

Os potenciais utilizadores do NEMSIM são entidades de geração, prestadoras de serviços, retalhistas, governos e reguladores. O NEMSIM permite que o utilizador explore vários tipos de mercado e diversas oportunidades de investimento, além de poder analisar alterações às regras de mercado e acompanhar os últimos avanços tecnológicos.

3.5.4 PowerACE

O objectivo do projecto de pesquisa PowerACE é criar um modelo de simulação baseado em agentes do sistema eléctrico alemão, com base na programação Java e Repast. Foca-se nos efeitos do comércio de emissões de CO_2 e no aumento do uso de energias renováveis nos mercados actuais.

Com a utilização de agentes à base de simulações, usa-se um novo conceito metodológico para a simulação do mercado, o que permite que os vários aspectos programados no simulador representem situações reais da indústria eléctrica, isto é:

- Acções estratégicas dos intervenientes;
- Aprendizagem com o sucesso comercial em sucessivos leilões diários;
- Interações entre mercados relacionados (por exemplo, mercado diário, mercados de emissões, etc.).

A metodologia de agentes baseia-se em conceitos de ciência da computação e de economia. Os agentes podem ser equipados com algoritmos de aprendizagem que lhes permitem otimizar as suas estratégias com base na experiência adquirida em negociações passadas. Em comparação com modelos de optimização centralizados, pode-se esperar agentes e simulações baseados em resultados mais realistas, com comportamentos e adaptações dinâmicas das estratégias pelas quais os intervenientes são representados.

Simulações especificamente orientadas são concebidas para ajudar a obter um melhor entendimento das interações entre os agentes e os diferentes mercados de electricidade e de comércio de emissões de CO_2 . Os conhecimentos adquiridos podem ser utilizados para obter recomendações para a configuração ideal do ambiente do sector da electricidade.

3.5.5 SEPIA

O *Simulator for Electricity Power Industry Agents* (SEPIA) foi desenvolvido pelo *Honeywell Technology Center* e pela Universidade do Minnesota, e financiado pelo *Electric Power Research Institute*, pretendendo ilustrar que a simulação baseada em agentes pode ser útil para análise das implicações de determinados cenários, como congestionamentos na rede de transporte e situações de poder de mercado por parte de algumas entidades.

Algumas das principais características do SEPIA são:

- Interface gráfica que permite aos utilizadores especificar, monitorizar e dirigir um mecanismo de simulação de eventos discretos;
- Agentes que representam as entidades específicas do domínio.

Os agentes representam companhias produtoras, consumidores e o operador da rede de transporte. O sistema eléctrico é modelado como um conjunto de zonas interligadas, cada uma contendo os seus geradores e cargas, sendo ignorados os efeitos de transporte dentro de uma mesma zona da rede. Assim, as transacções entre produtores e cargas que pertencem a uma mesma zona têm automaticamente permissão para ocorrerem, ao passo que as que implicam transacções entre zonas diferentes têm que ser sujeitas a um teste por parte do operador da rede de transporte.

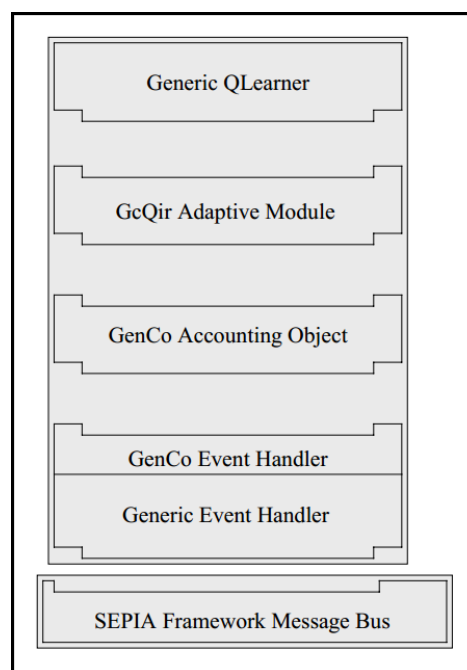


Figura 3.10: Estrutura de Agentes que representam Companhias Produtoras, no sistema SEPIA (SEPIA, 2012).

Os agentes são constituídos por várias camadas. Os que representam produtores possuem um módulo adaptativo, com componente de aprendizagem baseado no algoritmo *Q-learning*, permitindo-lhes explorar estratégias alternativas para cálculo dos preços. A figura 3.10 ilustra a estrutura dos agentes que representam companhias produtoras.

3.5.6 Críticas e Confrontação dos Simuladores

A tabela 3.1 apresenta de forma sucinta as características dos vários simuladores analisados. O simulador mais completo é, sem dúvida, o EMCAS. O SEPIA, embora limitado no que diz respeito ao modelo de mercado simulado, é também uma ferramenta muito interessante.

Constatou-se que o MASCEM é o simulador de mercados que mais se relaciona com o trabalho desenvolvido nesta dissertação. Embora seja um produto nacional recente, permite retirar diversos aspectos de qualidade para uma futura discussão.

O simulador desenvolvido no presente trabalho foi uma evolução de um outro simulador existente, nomeadamente o Simulador de Mercado de Energia (SMEE) (ver (Rodrigues, 2011)), desenvolvido no Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) em colaboração com o Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL), efectuando-se a sua comparação com os restantes simuladores na tabela 3.1.

3.6 Conclusão

Iniciou-se o presente capítulo com um estudo aprofundado sobre agentes autónomos e sistemas multi-agente. Verificou-se que, no que toca à construção de agentes autónomos, existem várias arquitecturas base dependentes do comportamento que se pode inculir nos agentes.

Referiram-se então os sistemas multi-agente ou SMAs. Estes sistemas têm como principal vantagem a aplicação da sua tecnologia nos mercados de energia eléctrica, apresentando mesmo assim alguns desafios.

Com a actual regulamentarização dos sectores eléctricos mundiais, as simulações de mercados apresentam-se muito complexas, colocando à comunidade científica e empresarial diversos desafios.

Com a evolução do campo da inteligência artificial, que cada vez mais possibilita a criação de sistemas complexos capazes de resolver vários problemas, as ferramentas que permitam estudar o desempenho de diferentes

Tabela 3.1: Comparação de diversos simuladores de mercados de energia.

<i>Características</i>	EMCAS	MASCEM	NEMSIM	PowerACE	SEPIA	SMEE
<i>Agentes</i>	Produtores; Consumidores; Retalhistas; Entidade de Transporte; Distribuidores; Operador de Sistema; Reguladores	Produtores; Consumidores; Retalhistas; Facilitador de Mercado; Operador de Mercado; Operador de Sistema	Produtores; Retalhistas; Operador da Rede Transporte	Consumidores; Retalhistas; Operadores de Rede; Agentes Governamentais; Operadores de Mercado	Produtores; Consumidores; Retalhistas; Operador da Rede Transporte	Consumidores; Retalhistas
<i>Modelos de Mercado</i>	Contratos Bilaterais, Bolsa (Simétrica), Mercado de Serviços de Sistema e outros	Mercados <i>Pool</i> e CBF	Mercados <i>Pool</i> e Contratos Bilaterais	Mercado <i>Pool</i> , Contratos Bilaterais e Mercado de Licenças de Emissões de CO_2	Contratos Bilaterais	Contratos Bilaterais
<i>Rede de Transporte</i>	Incluída mas Simplificada em Zonas	Não	Não	—	—	—
<i>Procura</i>	—	—	Variável	Variável	Variável	—
<i>Comportamentos dos Agentes</i>	Aprendizagem (Algoritmos Genéticos) e Tolerância	Aprendizagem, Estratégias Dinâmicas para Definição de Preços e Algoritmo de Análise	Adaptáveis e com Capacidade de	Algoritmos de Aprendizagem de otimização das suas	Aprendizagem <i>Q-learning</i> nos Agentes	Estratégias para Definição de Preços

modelos de mercado, em termos do seu desempenho a longo prazo, são uma mais valia.

Para além deste capítulo ter referenciado os problemas de construção e de comunicação existentes em simuladores deste tipo, foram apresentadas algumas das plataformas computacionais mais importantes para SMAs. Neste caso foi dada mais relevância à ferramenta JADE, por ter sido a plataforma utilizada neste trabalho, uma vez que possui uma biblioteca de alto nível que facilita o desenvolvimento de aplicações fornecendo serviços genéricos úteis, acesso a dados, comunicação, etc.

O JADE facilita ainda o desenvolvimento e assegura a conformidade face aos padrões base num conjunto de serviços e agentes de um sistema. Lida com todos os aspectos que não são peculiares da parte interna do agente e são independentes das aplicações, tais como: transporte de mensagens, codificação e ciclo de vida do agente.

Descreveram-se também os simuladores mais importantes do mercado que trabalham com contratos bilaterais e com tecnologia multi-agente. Comparativamente a outros simuladores existentes (como por exemplo, MASCEM, EMCAS, etc.), constatou-se que o simulador que serve de base ao presente trabalho apresenta características interessantes, mas ainda se encontra num estado inicial de desenvolvimento, não apresentando, por exemplo, algoritmos de aprendizagem.

4

O Simulador SMEEM e Estratégias para Negociação de Contratos Bilaterais

Este capítulo apresenta a descrição do simulador de negociação realizado no âmbito do presente trabalho. O capítulo começa por descrever o protocolo de negociação segundo as especificações internacionais FIPA e apresenta a interface gráfica final do programa. Posteriormente, descreve e efectua uma análise às várias estratégias que compõem o simulador, desenvolvidas no âmbito do presente trabalho. Por fim, apresenta-se o caso prático de estudo que serviu de base à experiência computacional realizada no capítulo 5.

4.1 Introdução

Este capítulo descreve a ferramenta computacional SMEEM (Simulador de Mercado de Energia Eléctrica Multi-Agente), ou MEMS (do inglês, *Multi-Agent Electricity Markets Simulator*). O SMEEM consiste essencialmente num simulador baseado em tecnologia multi-agente, aplicado aos contractos bilaterais em mercados de energia eléctrica. O SMEEM permite simular a negociação entre um vendedor e um comprador de electricidade, ambos com comportamento estratégico, a negociar sobre diferentes preços, com tarifas formuladas de quatro em quatro horas, num total de seis períodos horários. Os agentes, comercializadores e consumidores, são dotados de várias estratégias de negociação baseadas, entre outros factores, no tempo de duração da negociação e no comportamento do opositor.

Actualmente, é cada vez mais importante perceber as complexas interacções estratégicas entre agentes. Esta afirmação é válida para diversos domínios, com particular incidência para o desenvolvimento e estudo de mercados, quer para quem os projecta e pretende assegurar-se da sua estabilidade e eficiência económica, quer para quem projecta agentes, intervenientes nesses mercados, e deseja que estes sejam dotados de comportamento estratégico que maximize o seu lucro.

Neste contexto surge o mercado de contratação bilateral de energia, em que os agentes negociam para diversos horizontes temporais a compra e venda de electricidade. Esta compra e venda depende muito da estratégia que um agente utiliza ao longo da negociação.

As estratégias de negociação definem a sequência de acções ao longo do processo negocial, ou seja, equacionam a forma de determinar os valores de ofertas e contra-ofertas. A estratégia a utilizar depende do conhecimento que cada agente detém sobre o ambiente, particularmente no que diz respeito a flutuações de procura, e do comportamento dos seus competidores ou oponentes. Por vezes, uma estratégia determina que combinação de táticas (níveis inferiores) deve ser usada em cada instante.

No entanto, é irrealista considerar que os agentes têm conhecimento completo do ambiente de negociação, que lhes permita seleccionar as estratégias óptimas. O mundo real está cheio de incertezas: nem existe conhecimento perfeito da procura de um bem ou serviço, nem é possível conhecer com exactidão o comportamento e retorno associados.

Um protocolo de negociação ajuda a restringir as acções possíveis de executar, mas não especifica normalmente qualquer acção particular. Em vez disso, define frequentemente pontos alternativos, referentes a diferentes acções possíveis, cuja selecção depende da estratégia adoptada.

Como referido na secção 1.3, o presente trabalho envolve a extensão de um simulador já existente, desenvolvido através da linguagem Java e da plataforma JADE. Uma das características mais importantes da linguagem Java é ser orientada a objectos. Apesar de existirem semelhanças óbvias entre agentes e objectos, existem diferenças significativas. Objectos são entidades que abrangem um dado estado de conhecimento, capazes de realizarem operações sobre esse estado, e comunicarem entre si passando mensagens.

Uma das principais diferenças é o grau de autonomia entre agentes e objectos. Um objecto engloba um dado estado e tem controlo limitado sobre ele, devido a poder ser acedido e modificado pelos seus métodos. Mas não possui controlo sobre o seu comportamento. Ou seja, ao disponibilizar um método específico, não tem controlo sobre se esse método irá ser executado, nem quando pode ser executado. Nesse sentido, um objecto não é autónomo. Um agente não invoca métodos de outros agentes, antes define que acções devem ser realizadas.

O controlo das acções é também diferente entre objectos e agentes. Nos objectos, a decisão está em cada objecto que invoca um método. Nos agentes, a decisão reside em cada agente que recebe um pedido. Outra distinção importante envolve as noções de flexibilidade, reactividade, pró-actividade e capacidade social, que os agentes normalmente podem exibir e os objectos não.

Este capítulo também apresenta um caso prático de estudo que tem por base dados reais presentes no MIBEL. Estes dados incluem preços iniciais de referência e volumes de energia que os agentes utilizam durante o processo negocial.

4.2 O Simulador SMEEM

O SMEEM foi desenvolvido com o intuito de auxiliar os agentes intervenientes nos mercados de electricidade, concretamente na análise e experimentação de várias técnicas de negociação, por forma a verificar quais as que se adequam melhor aos objectivos que pretendem atingir. Mas também para responder às seguintes questões:

1. Como organizar uma sociedade de agentes para que, no global, esta execute as tarefas desejadas;

2. Como definir os aspectos do comportamento individual para que os agentes sejam integrados na sociedade com um comportamento global desejado.

Antes do utilizador iniciar uma simulação, insere no SMEEM informações sobre os agentes comprador e vendedor. Para facilitar a utilização do SMEEM, criou-se uma interface, onde é possível a inserção de dados, iniciar a negociação e observar os resultados (ver secção 4.2.1).

4.2.1 Interface Gráfica

A interface do SMEEM é simples e contém apenas os campos relativos aos dados estritamente essenciais para realizar a simulação. Para que o programa seja acessível a qualquer utilizador que o pretenda usar, decidiu-se desenvolver a interface em inglês.

A interface permite que o utilizador insira os dados do agente vendedor e do agente comprador, observar o decorrer da negociação, e visualizar os resultados finais. Para exemplificar o aspecto da interface, utilizou-se os dados do caso prático de estudo que irá ser descrito na secção 4.4.

Identificação dos Agentes

Foram incorporadas no simulador duas novas janelas, uma para cada agente (ver figura 4.1), que permitem ao utilizador indicar os dados pessoais dos agentes. As janelas são simples, possuindo as funcionalidades necessárias para o presente trabalho.

The figure shows two side-by-side windows for agent identification. The left window, titled 'Buyer: Agent Identification Data - Part 1 of 2', has a light blue header and a grey body. It contains five text input fields: '- Name: Consumer', '- Address: ISEL', '- Telephone: 217461346', '- Fax: 210984523', and '- E-mail: consumer@isel.pt'. The bottom of the window has a pink bar with 'Continue' and 'Cancel' buttons. The right window, titled 'Seller: Agent Identification Data - Part 1 of 2', has a light blue header and a grey body. It contains five text input fields: '- Name: Retailer', '- Address: LNEG', '- Telephone: 214698271', '- Fax: 215841236', and '- E-mail: retailer@lneg.pt'. The bottom of the window has a red bar with 'Continue' and 'Cancel' buttons.

Figura 4.1: Janelas iniciais do simulador – *Consumidor* e *Retalhista*.

Protocolo e Estratégias de Negociação

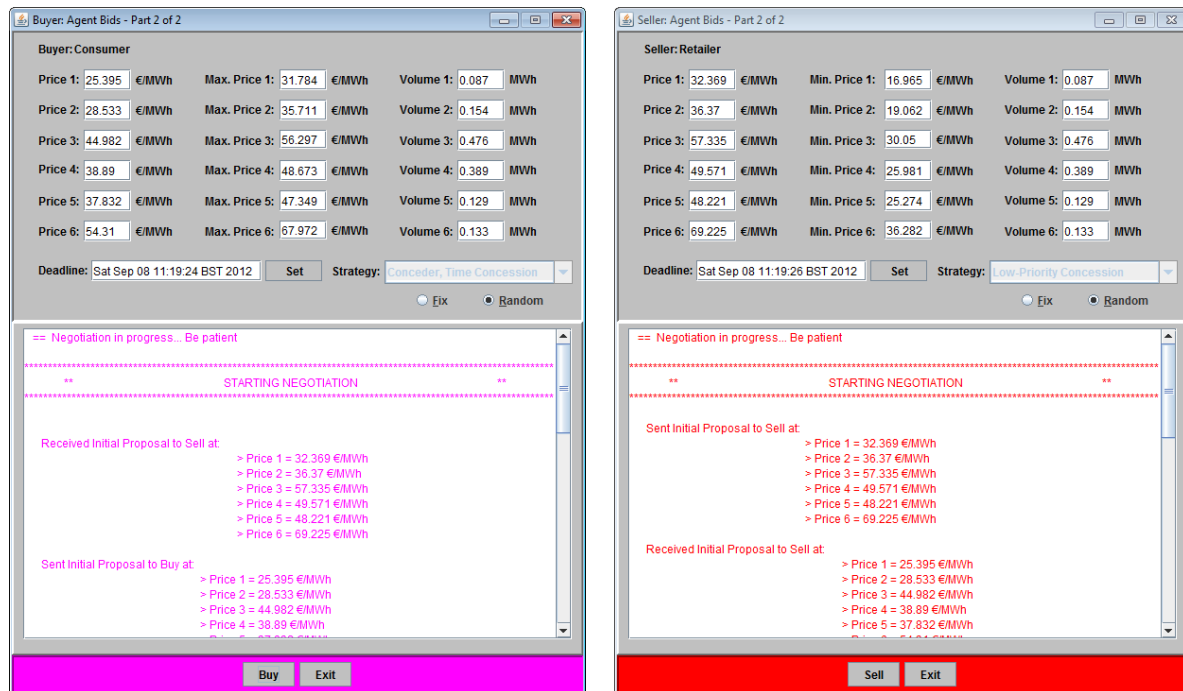


Figura 4.2: Janelas referentes ao Agente *Consumidor* e ao Agente *Retalhista*.

A segunda parte da interface é constituída por uma janela com duas partes distintas (ver figura 4.2). A parte superior diz respeito ao preenchimento dos campos com os dados da entidade que representa (preços, volumes energéticos, etc.). A parte inferior é utilizada para visualizar os resultados obtidos com a negociação entre os agentes. Na selecção da estratégia que o agente irá utilizar ao longo do processo negocial, está agora presente uma opção que permite ao utilizador fixar essa estratégia ou escolhê-la de forma aleatória. A razão pela qual foi considerada esta funcionalidade tem a ver com a experiência realizada, que se descreverá no capítulo 5.

4.2.2 Processo de Negociação: Protocolo de Ofertas Alternadas

Um protocolo de negociação define as regras de interacção entre duas ou mais partes negociais. Existem diferentes tipos de protocolos, que dependem do tipo e da quantidade de informação utilizada pelos negociadores. Um protocolo pode ser simples, complexo, ou sofisticado (muito complexo). Um protocolo simples permite que os agentes troquem apenas propostas ou contra-propostas. Um protocolo complexo permite que os agentes forneçam comentários às propostas que recebem, e um protocolo sofisticado permite que os agentes forneçam argumentos para sustentar a sua posição negocial.

No presente trabalho, os agentes negociam através de um protocolo simples de ofertas alternadas. Este protocolo permite a troca iterativa de propostas e contra-propostas (cada proposta e contra-proposta é constituída por seis itens de negociação). Os agentes apresentam alternadamente as suas propostas em instantes temporais diferentes no intervalo $T = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_m\}, m \in \mathbb{N}$.

4.2.2.1 Representação por Diagrama de Estados

A figura 4.3 apresenta o diagrama de estados do protocolo de ofertas alternadas (composto por seis estados negociais). As ovas representam os estados possíveis do protocolo e as setas representam as transições entre estados.

O parâmetro “*inf*” representa uma mensagem informativa, que indica o agente que começa a negociação (atributo *INFORM*¹). Os parâmetros “*aceita*”, “*sem acordo possível*”, e “*termina*” representam mensagens de aceitação de proposta e de fim do programa, respectivamente.

Os estados negociais do protocolo são os seguintes:

- **Estado 0** ou *Início*: estado em que um agente a_{gc} envia a informação *inf* sobre o agente que começa a negociação (a_{gc} ou a_{gr});
- **Estado 1** ou *Proposta Inicial*: estado em que um agente a_{gj} recebe o pedido de proposta inicial $prop_{t1}$ de outro agente;
- **Estado 2** ou *Proposta*: estado em que um agente a_{gj} recebe $prop_{tm}$;
- **Estado 3** ou *Contra-proposta*: estado em que um agente a_{gj} recebe uma contra-proposta $prop_{tm+1}$;
- **Estado 4** ou *Acordo*: estado em que os dois agentes alcançam um acordo sobre os itens de negociação;
- **Estado 5** ou *Fim*: estado em que o protocolo termina.

¹No JADE, o envio e a recepção de mensagens são efectuados utilizando a classe *ACLMessage*, que possui atributos definidos para se referir aos actos comunicativos FIPA e às suas especificações, como o atributo *INFORM*.

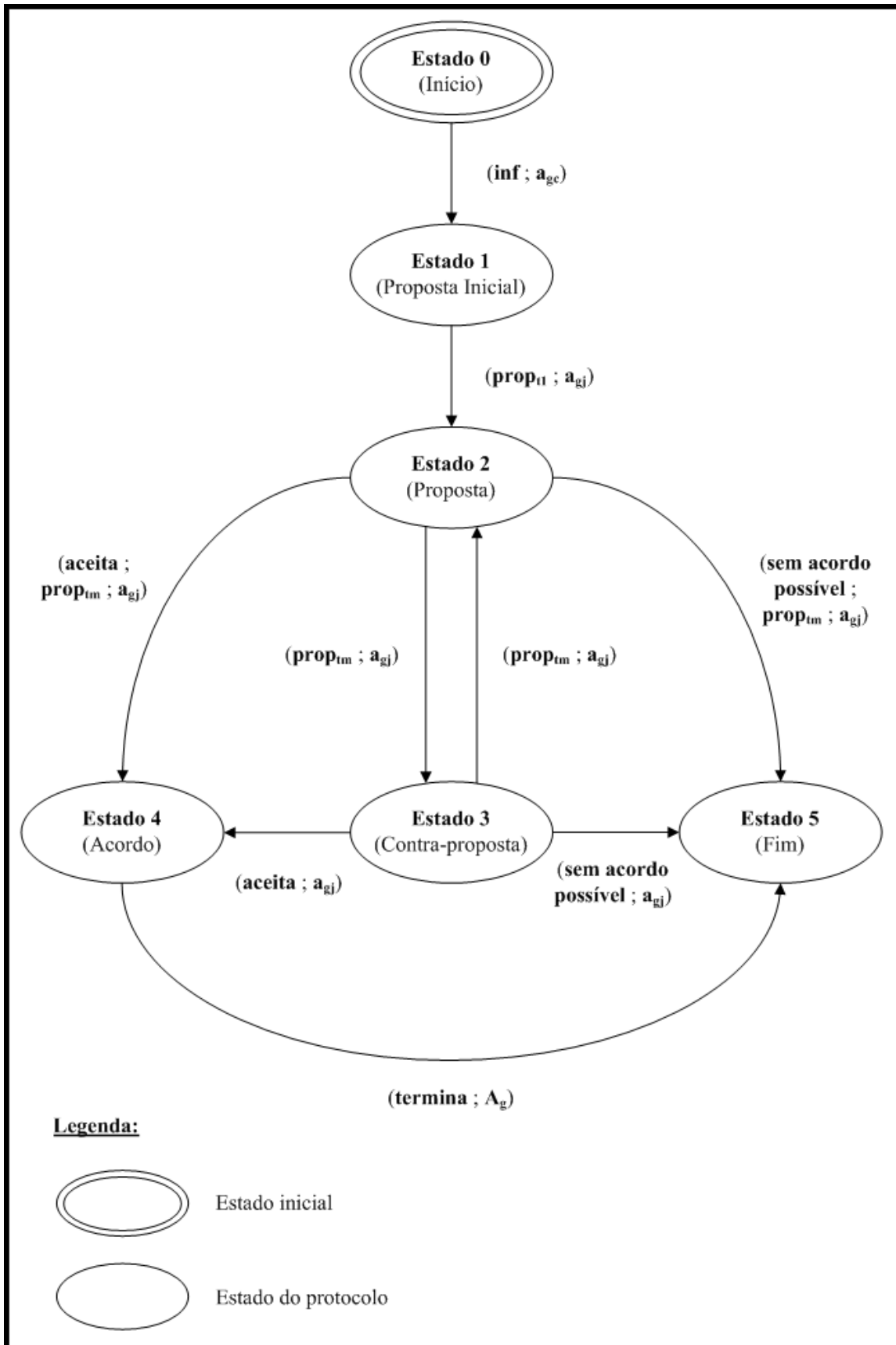


Figura 4.3: Diagrama de estados do protocolo de ofertas alternadas.

4.2.2.2 Representação Segundo o Modelo FIPA

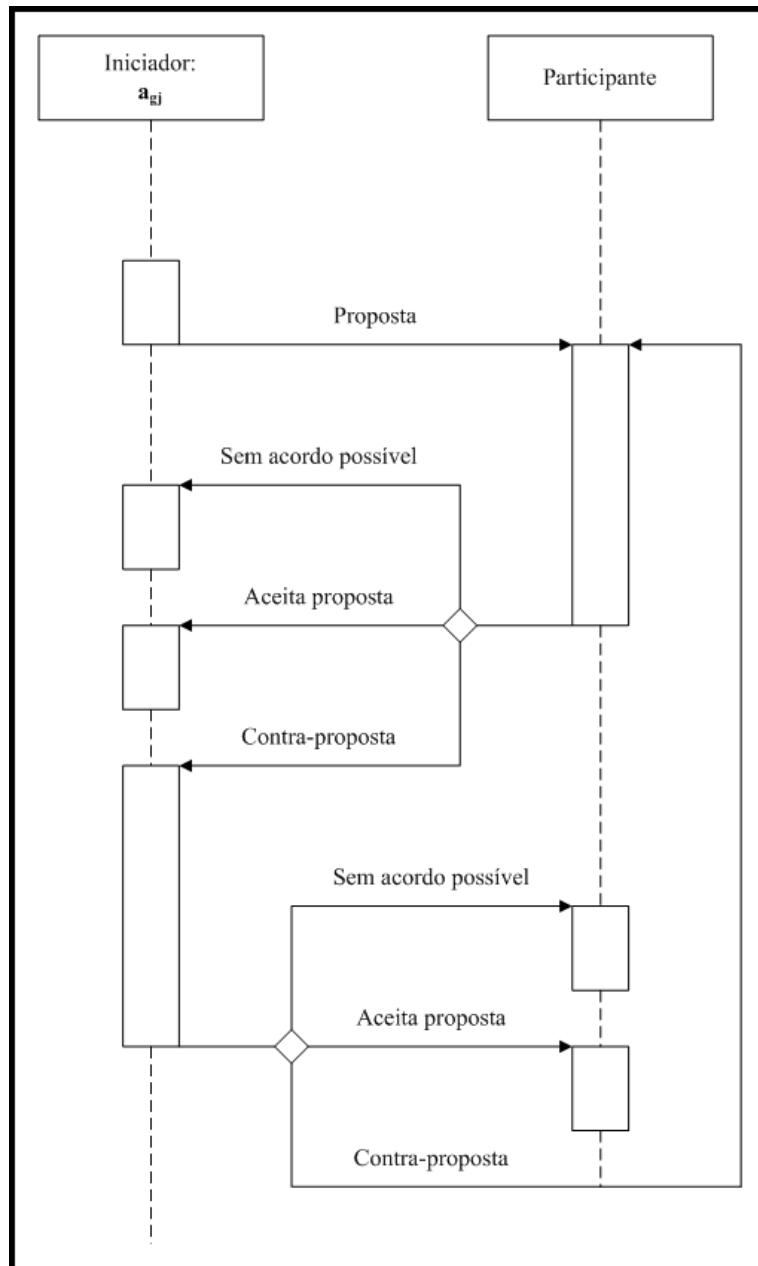


Figura 4.4: Representação FIPA do protocolo de ofertas alternadas.

A figura 4.4 apresenta o protocolo através do esquema do *Request Interaction Protocol* da FIPA (FIPA, 2012). O protocolo inicia-se com um agente a_{gj} (*Iniciador*) a enviar uma mensagem com a proposta inicial ao outro agente (*Participante*). Posteriormente, o agente a_{gj} recebe a proposta inicial e escolhe entre terminar a negociação, aceitar a proposta recebida, ou enviar uma contra-proposta ao outro agente. Os agentes trocam propostas e contra-propostas até atingirem um acordo (uma das propostas ser aceite) ou um dos agentes decidir terminar a negociação.

4.3 Estratégias para Negociação de Contratos Bilaterais

O cenário para a construção de um simulador deve conter dois pontos fundamentais. Para além dos protocolos de negociação (neste caso irá haver só um protocolo), cujas regras governam as interacções (encontro) entre agentes (Paiva, 2004), as estratégias dos agentes têm também um papel importante, tendo em vista atingir os objectivos propostos e maximizar o seu bem estar individual. Numa negociação, um agente recorre normalmente às estratégias que possui na sua biblioteca de maneira a obter um benefício elevado.

Descrevem-se de seguida dois grupos fundamentais de estratégias, que têm atraído muita atenção na pesquisa sobre negociação:

1. *Estratégias de concessão*: os negociadores reduzem as suas exigências ou as suas aspirações para acomodar o adversário;
2. *Estratégias de resolução de problemas*: os negociadores mantêm as suas aspirações e tentam encontrar formas de as conciliar com as aspirações do adversário.

Estratégias de concessão são funções que modelam posições iniciais e padrões típicos de concessão. De forma prática, existem três posições iniciais diferentes (extrema ou alta, razoável ou moderada, e modesta ou baixa) e três níveis de magnitude (grande, significativa e pequena), que têm atraído muita atenção nesta área de investigação. Estas permitem modelar uma série de estratégias de concessão, incluindo:

- *Começar alto e conceder lentamente*: os negociadores adoptam uma posição inicial optimista e fazem pequenas concessões ao longo da negociação;
- *Começar razoavelmente e conceder moderadamente*: os negociadores adoptam uma posição inicial realista e fazem concessões substanciais durante o curso da negociação.

Estratégias de resolução de problemas visam encontrar acordos que satisfaçam ambos os lados, tanto individualmente como colectivamente. Estas estratégias incluem:

- *Logrolling*: as partes concordam em trocar concessões sobre diferentes itens, cedendo cada uma em itens que são de baixa prioridade para si própria e de alta prioridade para o opositor;

- *Compensação não específica*: uma das partes atinge os seus objectivos e compensa a outra por acomodar os seus interesses.

Logrolling só é possível quando estão sob consideração vários itens e as partes têm prioridades diferentes entre esses mesmos itens. Estratégias típicas que levam a soluções de *Logrolling* incluem:

- *Começar alto e negociar criativamente*: os negociadores adoptam uma posição inicial optimista, reduzindo substancialmente as suas exigências de baixa prioridade (e que acreditam serem de alta prioridade para o seu oponente), e mantendo-se firmes nas suas exigências de alta prioridade (e que acreditam serem de baixa prioridade para o seu oponente);
- *Começar alto e agir cooperativamente*: os negociadores adoptam uma posição inicial optimista, reduzindo drasticamente as suas exigências de baixa prioridade (e que acreditam serem de alta prioridade para o seu oponente), e mantendo-se firmes nas suas exigências de alta prioridade (e que acreditam serem de baixa prioridade para o seu oponente).

Por completude, apresentam-se também outras famílias de estratégias que disponibilizam diversas tácticas diferentes das usadas nas estratégias definidas anteriormente. Estas estratégias são as seguintes:

- *Dependentes do tempo*: Se um agente tem um prazo de tempo pelo qual um acordo deve ser posto em prática, as estratégias modelam o facto do agente provavelmente conceder mais rapidamente com a aproximação desse prazo;
- *De comportamento dependente ou imitativas*: Em situações em que um agente não está sob uma grande pressão para chegar a um acordo, este pode optar por usar estratégias imitativas para se proteger de potenciais explorações por outros agentes.

No caso específico deste trabalho as estratégias são formuladas, em traços gerais, com base na quantidade de energia eléctrica a ser comercializada, no preço a que essa energia é vendida, e na duração que o negócio tiver. As estratégias permitem definir novos valores para os itens de negociação. Deste modo, o preço $P_i^{t_{m+1}}$ formulado, por exemplo, pelo agente retalhista no instante t , $0 \leq t \leq t_{máx}$, obtém-se de acordo com a equação seguinte:

$$P_i^{t_{m+1}} = P_i^{t_m} + C_f |lim_i - P_i^{t_m}| \quad (4.1)$$

onde:

- (i) $P_i^{t_m}$ é o preço actual do período i (em €/MWh);
- (ii) C_f é o factor de concessão;
- (iii) lim_i é o limite do preço para o período i (em €/MWh).

Para além das propostas efectuadas mutuamente ao longo da negociação, a oferta inicial e a concessão são dois elementos centrais da negociação. Após a primeira ronda de ofertas, uma questão fundamental consiste em determinar quais as concessões a efectuar? Os negociadores podem escolher não efectuar concessões, adoptando uma posição de firmeza. No entanto, existe a forte possibilidade da firmeza ser recíproca, ou seja, uma ou mesmo ambas as partes negociais torna-se intransigente e abandona a negociação (Lopes e Coelho, 2010).

Deste modo, a determinação das concessões a realizar em cada item ao longo da negociação é um questão importante. As concessões podem ser realizadas de forma simples, através de um valor fixo (por exemplo, uma redução de 5% no preço), ou determinadas com base num critério negocial (Lopes, 2004). O factor de concessão C_f varia assim, em percentagem, entre 0 e 100. Um valor nulo significa que o agente submete uma proposta inicial e não realiza qualquer concessão ao longo do processo negocial. Um valor igual a 100 significa que o agente submete uma proposta inicial e realiza o equivalente a uma concessão total durante o processo negocial.

Todos os parâmetros que permitem formular as estratégias e que definem o resultado da sua utilização têm impacto nos pesos e na função de utilidade que a proposta e, conseqüentemente, a contra-proposta terão para o agente que as receberá. Como foi mencionado em secções anteriores, o presente trabalho diz respeito à negociação de contratos bilaterais entre dois agentes que irão discutir o preço da energia que irão comprar ou vender. Considera-se que

cada agente possui uma função de utilidade U que retorna um valor entre 0 e 1, traduzindo a importância de uma determinada proposta. Por conveniência, os valores deste tipo de funções são mantidas no intervalo fechado $[0, 1]$ e têm um comportamento crescente ou decrescente.

No fundo, no decorrer do processo de análise dessa proposta é averiguado como é que o agente comercializador transforma uma proposta de negócio numa contra-proposta. A formulação da contra-proposta dará os preços com que o agente estará disposto a negociar. É possível ao agente avaliar a utilidade de uma proposta ou contra-proposta através da seguinte função linear de utilidade:

$$U_i = \sum_{1 \leq i \leq n} \omega_i P_i, \text{ com } \sum_{1 \leq i \leq n} \omega_i = 1 \quad (4.2)$$

onde U é a utilidade de uma proposta de um agente, ω_i é a importância relativa (ou peso) que um agente atribui a cada item de negociação (ou preço), e P_i é o valor do preço.

Se o resultado da função de utilidade da proposta ou contra-proposta recebida é maior do que a contra-proposta que o agente haveria de enviar neste ponto da negociação, então a oferta é aceite. Se a *deadline* pré-estabelecida ($t_{máx}$) segundo a qual a negociação deverá acabar é atingida, a proposta é rejeitada. Senão, é submetida uma contra-proposta. Apresenta-se de seguida uma descrição mais detalhada dos vários tipos de estratégias.

4.3.1 Estratégias de Concessão Fixa

Estratégias de concessão fixa são estratégias que, como o nome indica, modelam uma concessão fixa ao longo do tempo, definindo a evolução dos preços durante uma negociação através de um factor de concessão constante. As concessões podem ser pequenas, moderadas ou grandes, sendo similares em grandeza para cada item, ou seja, não têm em conta as prioridades dos itens (Lopes et al., 2002).

É de salientar, que as concessões podem dizer respeito a um único item ou a todos os itens. Deste modo, surge o problema de determinar os itens sobre os quais devem incidir as concessões. O utilizador que escolha esta estratégia pode seleccionar, para cada situação negocial, os itens que considerar apropriados. A justificação para este procedimento deve-se ao facto de se pretender desenvolver um modelo de negociação genérico e uniforme.

De notar também que as estratégias de concessão fixa especificam a grandeza de cada concessão, ao longo da negociação, apenas com base no comportamento negocial do agente que as utiliza, sendo independente do comportamento negocial do opositor.

4.3.2 Estratégias de Concessão Baseadas na Prioridade dos Itens

A maioria dos negociadores acredita que o sucesso depende da criatividade, por forma a encontrar acordos que se reflectam em ganhos consideráveis para ambos os agentes envolvidos numa negociação. Os negociadores vêem o processo de negociação como uma expansão dos recursos disponíveis para cada agente. Para esse fim, muitas vezes os negociadores trocam informações sobre os seus interesses comuns e usam estratégias adequadas para atingir os objectivos. Ou seja, os negociadores são “criadores de valor” na busca de soluções que satisfaçam ambas as partes.

Estas estratégias apenas podem ser utilizadas quando se consideram diferentes prioridades para cada um dos itens. A cada item é atribuída uma prioridade, permitindo dar maior ênfase aos preços que sejam mais importantes e menor ênfase aos preços menos importantes. Desta forma, é possível considerar concessões diferentes para cada preço (Lopes et al., 2002).

Deste modo, os negociadores concedem com frequência nos itens de menor prioridade, na esperança de que o seu opositor efectue concessões compensatórias. Eles preparam novas ofertas (contra-propostas) realizando concessões maiores nos itens de menor prioridade (Lopes e Coelho, 2010).

4.3.3 Estratégias de Concessão Baseadas no Volume de Energia

As estratégias de concessão baseadas no volume de energia, como o nome indica, consideram o volume associado a cada preço como o factor predominante na evolução dos preços ao longo da negociação. Mais especificamente, a equação 4.3 indica como se modela o factor de concessão:

$$C_f(V) = e^{-v \frac{V_i}{V_{Total}}} \quad (4.3)$$

onde:

- (i) v é um parâmetro de volume, com $1 < v < 100$;
- (ii) V_i é o volume de energia eléctrica dum dado período, em MWh;
- (iii) V_{Total} é o volume total de energia (soma dos volumes dos diferentes preços), em MWh.

O parâmetro $v \in [1, 100]$ é definido pelo quociente entre o volume de energia de um dado período e a soma dos volumes referentes à energia total, de modo a garantir que o factor de concessão esteja compreendido entre 0 e 1, $0 \leq C_f(V) \leq 1$.

4.3.4 Estratégias de Concessão Baseadas no Tempo de Negociação

O tempo é um factor crítico em todo o processo negocial, distinguindo-se normalmente dois níveis distintos: (i) o tempo necessário para chegar a um acordo deve ser razoável e (ii) o tempo que um produto negociado leva a ser executado é importante na maioria dos casos, sendo crucial noutros (Faratin et al., 1998).

Um grande conjunto de funções dependentes do tempo pode ser definidas simplesmente variando o modo como $C_f(t)$ é calculado. Contudo, este tipo de funções têm de assegurar que $0 \leq C_f(t) \leq 1$, $C_f(0) = k$ e $C_f(t_{m\acute{a}x}) = 1$. Isto é, a contra-proposta irá sempre situar-se dentro dos limites estipulados, no início irá dar uma constante inicial, e quando o tempo máximo se começar a aproximar a estratégia irá sugerir uma contra-proposta com o valor limite de preço². Optou-se por modelizar uma função polinomial para este tipo de comportamento.

Optou-se também por desenvolver dois tipos de variantes para esta família de estratégias, resultando em duas estratégias com um comportamento completamente distinto e oposto. Ambas as famílias são parametrizadas pelo valor de uma constante β que determina o grau de convexidade da curva, sendo este parâmetro o responsável pelas diferenças entre estas duas estratégias (ver abaixo).

Para um valor elevado de β , a função polinomial concede mais rápido no início da negociação, e para um valor pequeno espera quase até ao final da negociação para começar a conceder. Apresenta-se na equação 4.4 a fórmula de cálculo do factor de concessão (Faratin et al., 1998):

$$C_f(t) = k + (1 - k) \left(\frac{\min(t, t_{m\acute{a}x})}{t_{m\acute{a}x}} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (4.4)$$

O parâmetro t foi programado no simulador consoante os tempos anteriores de propostas enviadas e recebidas. Ou seja, foram gravados em variáveis específicas o tempo em que foi formulada a proposta inicial e os tempos em

²O valor limite também se costuma intitular de valor de reserva, uma vez que representa a menor utilidade que um agente poderá ter.

que foram formuladas as restantes contra-propostas. Por exemplo, a expressão $t = t_2 - t_1$ explica esse mesmo facto, de modo a que $0 \leq t \leq t/t_{m\acute{a}x}$.

Nesta definição entra ainda uma constante k que, quando multiplicada pelo intervalo de preços existente, determina o valor de P_i nas contra-propostas trocadas entre os dois agentes.

Complacente

Uma das duas estratégias desenvolvidas é uma estratégia de concessão baseada no tempo restante de negociação, mas com um carácter complacente, isto é, qualquer função de $C_f(t)$ com $\beta > 1$ em que o agente rapidamente propõe o seu valor de reserva (concede mais rápido). Considera-se que, teoricamente, $\lim_{\beta \rightarrow +\infty} = 1$.

Conservadora

A segunda estratégia desenvolvida é uma estratégia de concessão baseada no tempo restante de negociação, mas com um carácter mais conservador, isto é, qualquer função de $C_f(t)$ com $\beta < 1$. Esta estratégia mantém o valor de concessão até ao tempo de negociação estar quase esgotado, onde começa a conceder tudo até ao valor limite de reserva (concede só perto da *deadline*). Considera-se que, teoricamente, $\lim_{\beta \rightarrow 0^+} = k$.

4.3.5 Estratégias Imitativas Baseadas no Comportamento do Opositor

Sempre que possível, os agentes tendem a imitar as escolhas de outros agentes melhor sucedidos. Em diversos modelos de mercado, a teoria imitativa sugere diferentes processos de selecção, de modo a efectuar o equilíbrio negocial de acordo com o comportamento de imitação modelado e com as informações disponíveis para os “jogadores” (O’Higgins e Sbriglia, 2006).

Como os agentes são autónomos, os factores que influenciam a sua postura na negociação e o seu comportamento são privados e não estão disponíveis para os seus adversários.

De notar, que nem todas as estratégias podem ser aplicadas em qualquer instante, principalmente este tipo de estratégias. Uma estratégia que imite o comportamento de um oponente só é aplicável quando o oponente já deu a conhecer um número suficiente de acções (contra-propostas). Neste caso, as contra-ofertas dependem do comportamento do adversário.

Esta família de estratégias calcula a próxima oferta com base na anterior atitude de negociação do adversário. Estas estratégias mostram ser impor-

tantes na resolução de problemas de negociação de forma cooperativa. A principal diferença entre as duas estratégias formuladas é o tipo de imitação que executam. Uma imita proporcionalmente (em termos relativos) e a outra em termos absolutos.

Por padrão, se a duração da negociação não permitir aplicar esta estratégia (isto é, $t < 2\delta$), o agente emprega uma estratégia muito similar à *Estratégia de Concessão Baseada na Prioridade dos Itens*, sendo a única diferença o facto de se atribuir as importâncias aos itens respeitando um intervalo $[1\%, 15\%]$ para os mais significativos e um intervalo $[15\%, 30\%]$ para os menos significativos.

Dado um segmento de negociação $\{\dots, P_{r \rightarrow c}^{t_{m-2\delta}}, P_{c \rightarrow r}^{t_{m-2\delta+1}}, \dots, P_{r \rightarrow c}^{t_{m-2}}, P_{c \rightarrow r}^{t_{m-1\delta}}, P_{r \rightarrow c}^{t_{m\delta}}\}$, com $\delta \geq 1$, ilustram-se de seguida as duas estratégias desenvolvidas.

Relativa

Cada agente reproduz, em termos percentuais, o comportamento que o seu oponente efectuou $\delta \geq 1$ iterações atrás. A condição de aplicabilidade desta estratégia é $m > 2\delta$, para uma função como a descrita na equação 4.5 (Faratin et al., 1998).

$$P_{c \rightarrow r}^{t_{m+1}} = \min(\max(\frac{P_{r \rightarrow c}^{t_{m-2\delta}}}{P_{r \rightarrow c}^{t_{m-2\delta+1}}} P_{c \rightarrow r}^{t_{m-1\delta}}, \min_i), \max_i) \quad (4.5)$$

Aleatória

Esta estratégia é muito parecida com a anterior, mas em termos absolutos. Isto significa que se o outro agente diminuir a sua oferta em 2 €, então a próxima resposta deverá ser aumentada pelos mesmos 2 €.

Existem dois parâmetros singulares nesta estratégia, nomeadamente o parâmetro s , que nos diz se a utilidade irá ser crescente ou decrescente, e o parâmetro M que consiste na quantidade máxima pelo que um agente poderá mudar o seu comportamento imitativo. A condição de aplicabilidade desta estratégia é novamente $m > 2\delta$, para uma função como a descrita na equação 4.6 (Faratin et al., 1998).

$$P_{c \rightarrow r}^{t_{m+1}} = \min(\max(P_{c \rightarrow r}^{t_{m-1\delta}} + (P_{r \rightarrow c}^{t_{m-2\delta}} - P_{r \rightarrow c}^{t_{m-2\delta+1}}) + (-1)^s M, \min_i), \max_i) \quad (4.6)$$

Considerou-se que a utilidade para os dois agentes é sempre decrescente, portanto $s = 0$, e $M \in [1, 3]$.

4.4 Caso Prático de Estudo

O caso de estudo envolve um retalhista, designado por “*Electricity Providers*”, e um consumidor, “*General Utilities*”. A entidade retalhista representa a entidade que compra e vende electricidade, por forma a satisfazer as necessidades dos clientes finais. A entidade consumidora representa uma unidade de escritórios com uma classificação de *Serviço Classe Primária 3 Sub-transmissão – Alto Factor de Carga*, segundo os padrões *New York State Electric and Gas Corporation* (NYSEG). Os agentes negociam os preços (da energia) referentes a seis períodos horários.

4.4.1 Preços de Referência da Energia Eléctrica

De acordo com os procedimentos estabelecidos no Regulamento Tarifário, foi submetida em Outubro de 2011 a “Proposta de Tarifas e Preços para a Energia Eléctrica e Outros Serviços em 2012, e Parâmetros para o período de regulação 2012-2014” (ERSE, 2011b). Esta proposta foi complementada por um conjunto de outros documentos que lhe serviram de base e de enquadramento e que dela fazem parte integrante.

Tendo em consideração o parecer do Conselho Tarifário ao qual esta proposta foi submetida, procedeu-se à publicação dos valores das tarifas e preços para a energia eléctrica e outros serviços para o Continente e para as Regiões Autónomas, a vigorarem em 2012 (ERSE, 2011a).

As tarifas de 2012 são determinadas tendo em consideração o disposto no Regulamento Tarifário aprovado pelo Regulamento nº 496/2011, de 19 de Agosto. As disposições estabelecidas no Regulamento Tarifário aprofundam, por um lado, a regulação das actividades de transporte e distribuição de energia eléctrica e, por outro lado, a integração do Mercado Ibérico de Electricidade no quadro da legislação em vigor.

Depois de aprovadas estas condições anuais, em termos diários o operador do mercado calcula e publica o preço final médio do mercado de produção de energia eléctrica, assim como as componentes do preço final (OMIE, 2012).

Os preços e componentes publicam-se para:

- o total da procura nacional;
- os clientes fornecidos por Comercializadoras de Último Recurso (CUR);
- os clientes fornecidos por comercializadoras (com a excepção das CUR) e consumidores directos.

No cálculo dos referidos preços incorporam-se os seguintes segmentos de mercado ou processos:

- Preço de anulação do mercado diário;
- Custo resultante do processo de solução de restrições técnicas;
- Preço de anulação do mercado intradiário;
- Custo dos processos de operação técnica do sistema;
- Custo dos pagamentos por capacidade.

No presente caso de estudo, os preços de referência que darão origem aos preços iniciais atribuídos por qualquer dos dois agentes para a negociação de um contrato bilateral, terão em conta o custo associado à produção de electricidade, que depende da tecnologia e da matéria-prima utilizada.

Tendo presente este aspecto, a metodologia utilizada para o cálculo dos preços de referência teve como base uma tarifa de energia activa em €/MWh, formada através de seis períodos horários de quatro horas cada, com base em valores diários publicados pelo operador de mercado OMIE (ver figura A.1, do anexo A).

Deste modo, para um determinado dia do ano, efectuou-se a média dos preços marginais no sistema português, começando pelo primeiro período de quatro horas e assim sucessivamente (ver tabela A.1, do anexo A). A tabela 4.1 apresenta os preços estabelecidos.

Tabela 4.1: Resumo de cálculo de preços de mercado.

Período	Preço [€/MWh]
<i>Período 1</i>	$P_1 = (29,03 + 30,31 + 29,57 + 29,62)/4 = 29,633$
<i>Período 2</i>	$P_2 = (30,31 + 33,30 + 29,57 + 40,00)/4 = 33,295$
<i>Período 3</i>	$P_3 = (50,03 + 55,02 + 55,00 + 49,90)/4 = 52,488$
<i>Período 4</i>	$P_4 = (50,00 + 50,03 + 41,46 + 40,03)/4 = 45,380$
<i>Período 5</i>	$P_5 = (40,00 + 41,58 + 45,00 + 50,00)/4 = 44,145$
<i>Período 6</i>	$P_6 = (59,63 + 66,85 + 65,86 + 61,15)/4 = 63,373$

4.4.2 Períodos Horários

Os períodos clássicos definidos pela ERSE e usados actualmente em Portugal são (no máximo) quatro períodos (se incluirmos a divisão do período de vazio em vazio normal e super vazio). No presente trabalho, utilizam-se seis períodos horários, uma vez que se pretende ter em conta um sentido mais

realista de como os preços flutuam ao longo do dia. Estes períodos dizem respeito aos intervalos de tempo definidos na tabela 4.2.

Tabela 4.2: Períodos horários estabelecidos para um dia de consumo.

Período	Intervalo diário para cada período
<i>Período 1</i>	00:00 – 04:00 horas
<i>Período 2</i>	04:00 – 08:00 horas
<i>Período 3</i>	08:00 – 12:00 horas
<i>Período 4</i>	12:00 – 16:00 horas
<i>Período 5</i>	16:00 – 20:00 horas
<i>Período 6</i>	20:00 – 24:00 horas

4.4.3 Negociação Bilateral no Mercado Retalhista

Esta secção apresenta, para o retalhista e o consumidor, os valores para os preços e volumes referentes a uma contratação bilateral no mercado retalhista, bem como os aspectos práticos das estratégias implementadas. Estes valores têm como base uma situação real no mercado de retalho.

4.4.3.1 Retalhista

Volumes de Energia Eléctrica

No mercado de contratação a prazo é estabelecido um compromisso futuro sobre a produção e compra de energia eléctrica. Assim sendo, os volumes de energia definidos pela entidade de retalho têm em conta o pressuposto de que este agente garante o fornecimento de energia eléctrica ao cliente final, para qualquer período do dia. Por simplicidade, considerou-se que os volumes de energia eléctrica serão iguais aos propostos pelo agente de consumo, para todos os períodos diários. Esta medida leva a que os volumes não tenham um efeito muito significativo na negociação, na medida em que se assume que o retalhista terá sempre energia disponível para um cliente final.

Preços Iniciais

Os preços atribuídos pela entidade de retalho reflectem os preços base de energia eléctrica (calculados na secção 4.4.1). O agente de retalho terá por ambição propôr preços iniciais com valores superiores aos de referência. Deste modo, foi adicionado 35% a cada preço de referência. Os limites definidos pelo agente de retalho são inferiores aos preços de referência, que sofrem uma redução de 55%.

Os pesos dos itens para este agente foram definidos com base nos intervalos de cada período horário, ou seja, segundo a importância que teoricamente este tipo de agente daria a essa altura do dia. A tabela 4.3 apresenta os valores calculados para o agente de retalho.

Tabela 4.3: Resumo de valores para o agente Retalhista.

Período	Preço [€/MWh]	Limite Mínimo [€/MWh]	Volume [MWh]	Peso
1	40,004	13,335	0,087	0,040
2	44,948	14,983	0,154	0,160
3	70,858	23,619	0,476	0,240
4	61,263	20,421	0,389	0,240
5	59,596	19,865	0,129	0,240
6	85,553	28,518	0,133	0,080

4.4.3.2 Consumidor

Volume de Consumo de Energia Eléctrica

O cálculo do consumo da energia eléctrica teve em consideração o perfil de carga deste tipo de instalações (apresentado na tabela B.1, do anexo B). Efectuou-se, para cada hora do dia, o somatório da energia mensal dos dias semanais com a média dos dias de fim de semana. De seguida, realizou-se a soma de quatro horas para cada mês do perfil e reduziu-se o resultado às unidades certas para definir os seis períodos que compõem este caso (ver tabela resumo B.2 do anexo B). Finalmente, efectuou-se a média dos doze valores para cada período.

Os volumes totais de energia eléctrica para cada período horário são apresentados na tabela 4.4. Os índices inferiores z e w , presentes na tabela, representam os doze meses do ano e as horas que compõem cada período horário, respectivamente. Por forma a garantir o volume de energia eléctrica, este perfil de consumo já considera o pressuposto da uniformização dos dias de cada mês.

Preços Iniciais

Os preços da entidade de consumo reflectem os preços base de energia eléctrica calculados na secção 4.4.1. Este agente tem por ambição propor preços iniciais com valores inferiores aos de referência. Deste modo, foi retirado 35% a cada preço de referência. Os limites definidos pelo agente de

Tabela 4.4: Volumes de energia do Consumidor.

Período	<i>Período 1</i>	<i>Período 2</i>	<i>Período 3</i>
Volume [MWh]	$\frac{\sum_{1 \leq z \leq 12} (\frac{\sum_{1 \leq w \leq 4} V_j}{1000})}{12}$	$\frac{\sum_{1 \leq z \leq 12} (\frac{\sum_{5 \leq w \leq 8} V_j}{1000})}{12}$	$\frac{\sum_{1 \leq z \leq 12} (\frac{\sum_{9 \leq w \leq 12} V_j}{1000})}{12}$
Período	<i>Período 4</i>	<i>Período 5</i>	<i>Período 6</i>
Volume [MWh]	$\frac{\sum_{1 \leq z \leq 12} (\frac{\sum_{13 \leq w \leq 16} V_j}{1000})}{12}$	$\frac{\sum_{1 \leq z \leq 12} (\frac{\sum_{17 \leq w \leq 20} V_j}{1000})}{12}$	$\frac{\sum_{1 \leq z \leq 12} (\frac{\sum_{20 \leq w \leq 24} V_j}{1000})}{12}$

consumo são superiores aos preços de referência, que sofrem um acréscimo de 50%. A previsão do consumo de electricidade ao longo dos dias permitiu analisar os períodos onde o consumo é mais elevado, facilitando a atribuição de diferentes prioridades aos seis preços.

Os pesos dos itens foram definidos com base nos intervalos de cada período horário, ou seja, segundo a importância que teoricamente este tipo de agente daria a essa altura do dia. A tabela 4.5 apresenta o resumo dos valores calculados para o agente de consumo.

Tabela 4.5: Resumo de valores para o agente Consumidor.

Período	Preço [€/MWh]	Limite Máximo [€/MWh]	Volume [MWh]	Peso
1	19,261	44,449	0,087	0,034
2	21,642	49,943	0,154	0,062
3	34,117	78,731	0,476	0,310
4	29,497	68,070	0,389	0,244
5	28,694	66,218	0,129	0,200
6	41,192	95,059	0,133	0,150

4.4.3.3 Estratégias de Negociação

Nesta secção são apresentadas algumas considerações práticas que foram utilizadas no estudo do caso prático, concretamente na definição das estratégias (dos cinco tipos descritos na secção 4.3).

Estratégias de Concessão Fixa

Cada preço representa um período horário, como observado na tabela 4.2. Considerou-se que cada preço calculado numa contra-proposta sofre uma redução de 20%, para ambos os agentes. A figura 4.5 apresenta o valor do factor de concessão (C_f) para os seis itens em jogo na negociação.

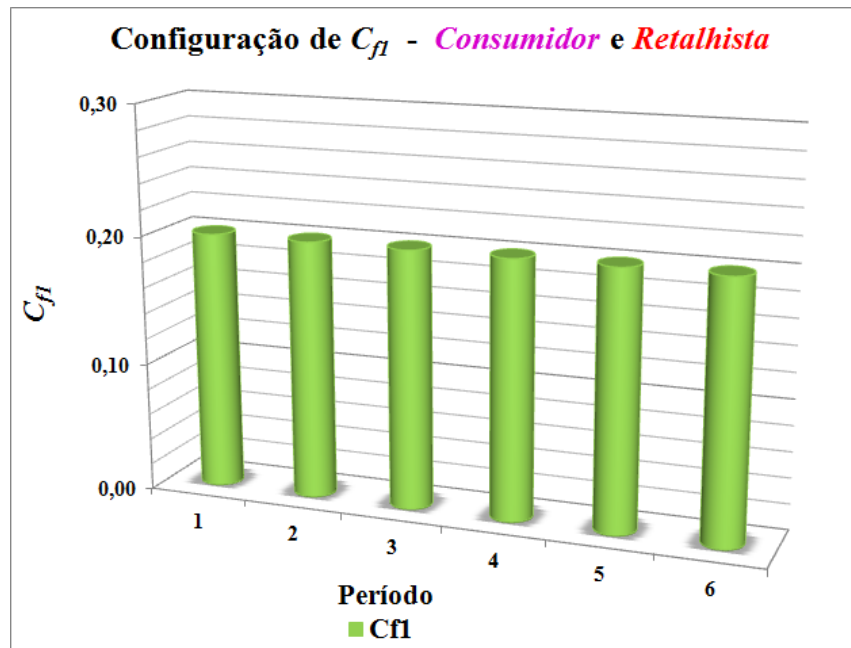


Figura 4.5: Factor de concessão para os itens em jogo.

Estratégias de Concessão Baseadas na Prioridade dos Itens

A figura 4.6 apresenta os valores dos factores de concessão para os dois agentes negociadores e os seis itens em discussão. Para o agente consumidor, o *Período 3*, onde o consumo de energia eléctrica é maior (08:00 – 12:00 horas), é o mais importante ($C_f = 0,03$), e o *Período 1* (00:00 – 04:00 horas) é o menos importante ($C_f = 0,30$). Ao longo do dia e depois do *Período 3*, verifica-se uma tendência crescente nos factores de concessão, tanto do *Período 4* (12:00 – 16:00 horas), como dos *Períodos 5 e 6* (16:00 – 24:00 horas) ($C_f = 0,09$, $C_f = 0,13$ e $C_f = 0,18$, respectivamente). Finalmente, o *Período 2* (04:00 – 08:00 horas) tem um valor um pouco menor que o valor do período menos significativo ($C_f = 0,27$).

Para o agente retalhista, o período menos importante ($C_f = 0,29$) é o *Período 1* (00:00 – 04:00 horas). Seguem-se os *Períodos 6 e 2* (20:00 – 24:00 horas e 04:00 – 08:00 horas, respectivamente) com importâncias moderadas ($C_f = 0,26$ e $C_f = 0,18$). Existem ainda os três períodos mais significantes ($C_f = 0,09$), que são os *Períodos 3, 4 e 5* (08:00 – 20:00 horas).

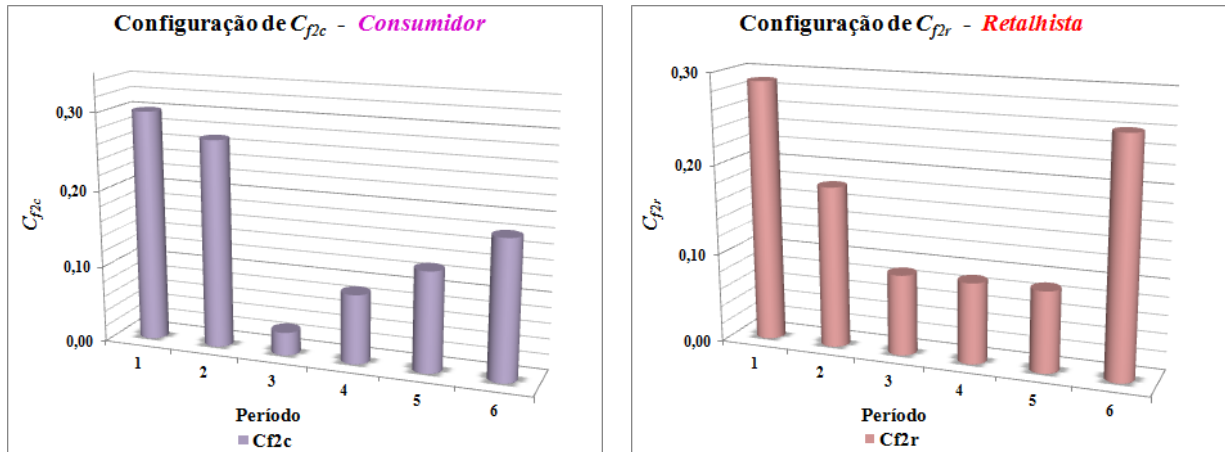


Figura 4.6: Factores de concessão para os itens em jogo – *Consumidor* e *Retailista*.

Estratégias de Concessão Baseadas no Volume de Energia

Considere-se a expressão 4.3. Diferentes valores de v permitem obter diferentes curvas de $C_f(V)$, para um dado período i . Optou-se pela atribuição de um valor constante a este parâmetro, de maneira a obter um comportamento moderado, em termos da realização de concessões.

Na figura 4.7 pode-se observar uma curva teórica (mais clara) de $C_f(V)$, realizada com $v = 3$ e com valores de $\frac{V_i}{V_{Total}}$ genéricos, e uma curva mais escura obtida com o mesmo valor de v mas com valores reais retirados do MIBEL. Verifica-se que a curva real sobrepõe-se à teórica, com os valores do factor de concessão ajustados às necessidades energéticas de cada agente, consoante o período horário em análise.

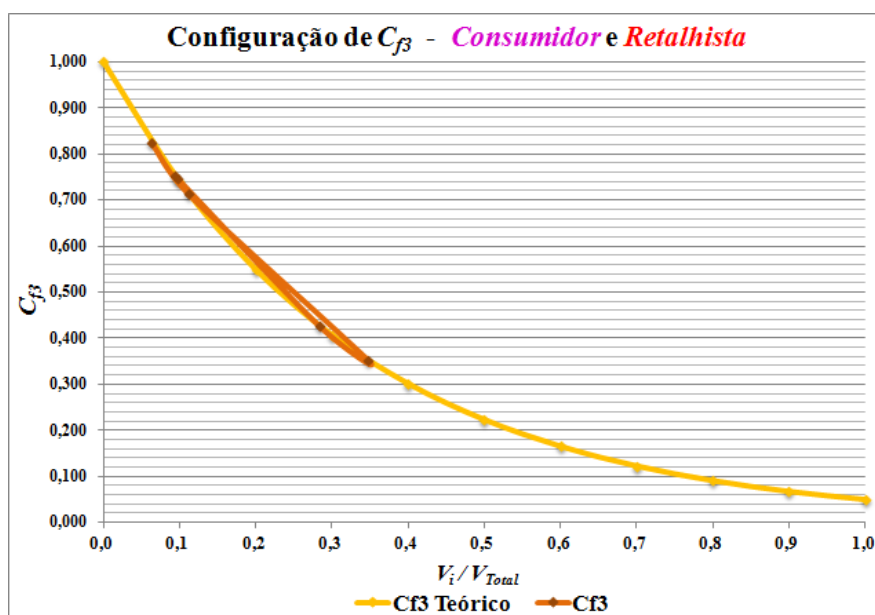


Figura 4.7: Função para cálculo do factor de concessão.

Estratégias de Concessão Baseadas no Tempo de Negociação

Para demonstrar as condições teóricas apresentadas anteriormente (ver secção 4.3.4), para o agente retalhista, efectuou-se uma simulação genérica com os seguintes parâmetros: $k = 1$ e $\beta = 2,391$. Como se pode verificar na tabela 4.6 e na figura 4.8, a simulação está de acordo com (Faratin et al., 1998), dependendo da *deadline* escolhida e do sistema em que o simulador esteja a ser executado.

Tabela 4.6: Valores relativos a $C_f(t)$ para a estratégia complacente baseada no tempo de negociação.

t	$t/t_{\text{máx}}$	$C_f(t)$
0,0	0,0000	0,100
5,0	0,0625	0,382
9,0	0,1125	0,461
13,0	0,1625	0,521
18,0	0,2250	0,582
22,0	0,2750	0,625
26,0	0,3250	0,663
30,0	0,3750	0,697
33,0	0,4125	0,721

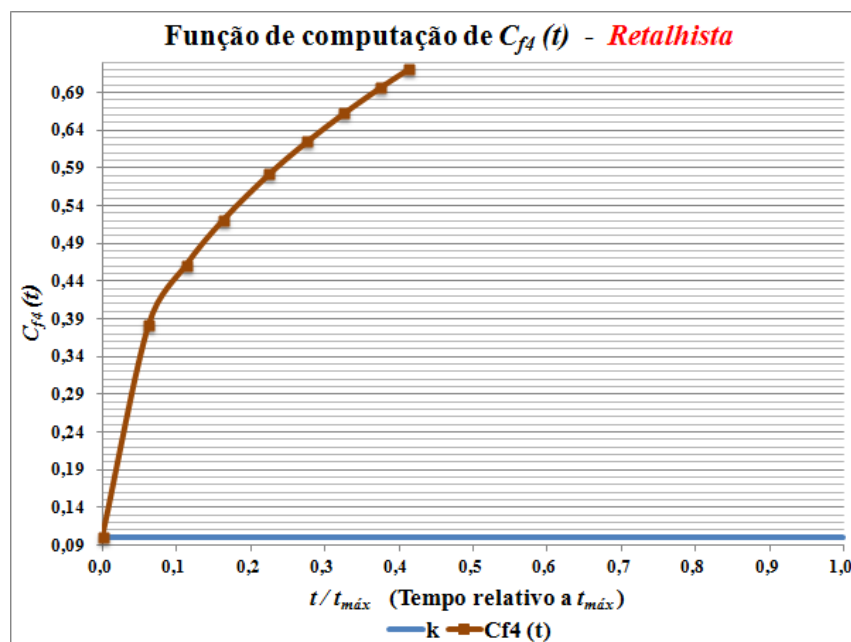
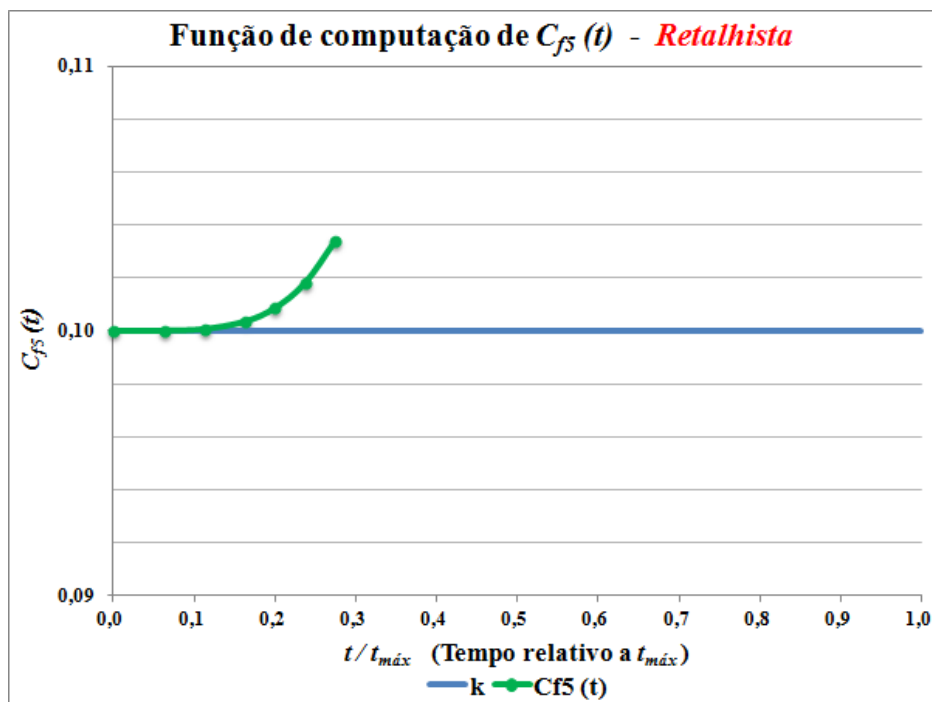


Figura 4.8: Factor de concessão polinomial para a computação de $C_f(t)$ para a estratégia complacente baseada no tempo de negociação. O tempo é relativo a $t_{\text{máx}}$.

Numa segunda simulação, considerou-se $k = 1$ e $\beta = 0,231$. Como se pode verificar na tabela 4.7 e na figura 4.9, a simulação está de acordo com (Faratin et al., 1998), dependendo da *deadline* escolhida e do sistema em que o simulador esteja a ser executado.

Tabela 4.7: Valores relativos a $C_f(t)$ para a estratégia conservadora baseada no tempo de negociação.

t	$t/t_{\text{máx}}$	$C_f(t)$
0,0	0,0000	0,100
5,0	0,0625	0,100
9,0	0,1125	0,100
13,0	0,1625	0,100
16,0	0,2000	0,101
19,0	0,2375	0,102
22,0	0,2750	0,103

**Figura 4.9:** Factor de concessão polinomial para a computação de $C_f(t)$ para a estratégia conservadora baseada no tempo de negociação. O tempo é relativo a $t_{\text{máx}}$.

De facto, a forma como estas estratégias se comportam depende do sistema operativo e da máquina em que o simulador esteja implementado, variando o parâmetro t , de sistema para sistema. Também o tempo máximo imposto ao programa influencia o resultado final da negociação. Na figura 4.10, ambas as funções comportam-se conforme previsto, mas não chegam perto do tempo máximo, obtendo-se um acordo antes de tal acontecer.

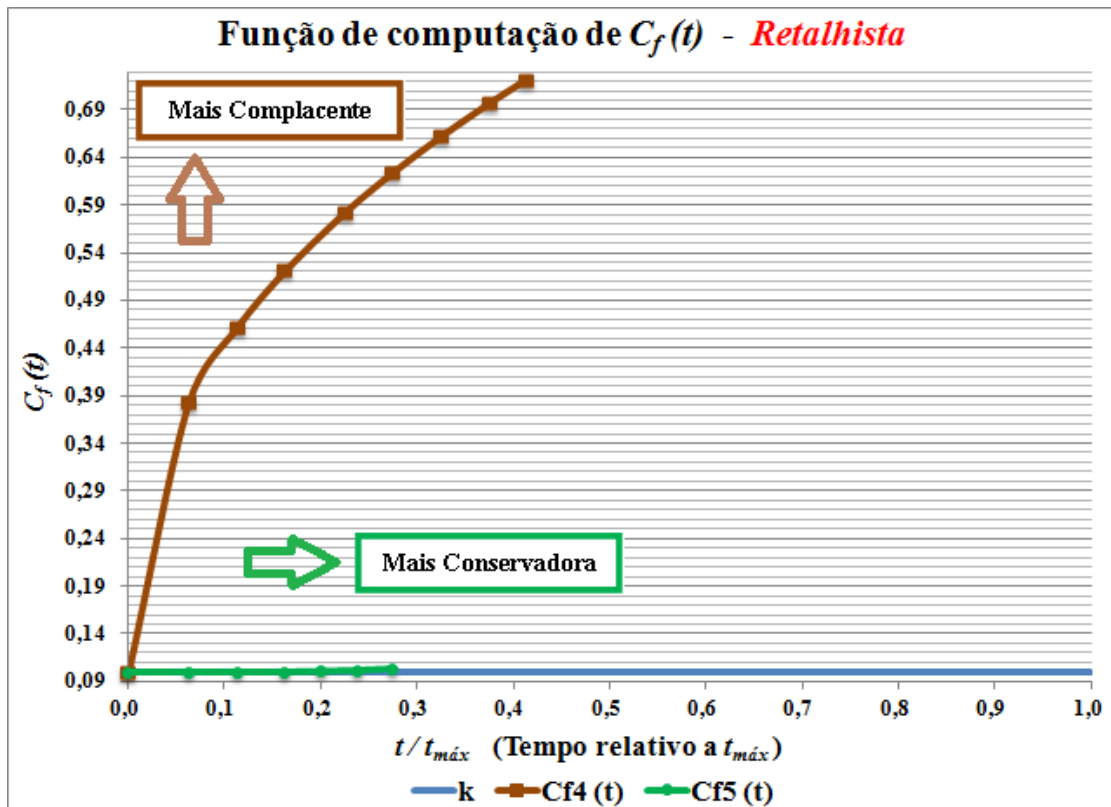


Figura 4.10: Factores de concessão polinomiais $C_f(t)$ para as estratégias baseadas no tempo de negociação.

4.5 Conclusão

Este capítulo foi dividido em três partes fundamentais, sendo apresentado no geral o simulador de contratos bilaterais SMEEM. Descreveu-se esta ferramenta, principalmente as alterações mais importantes relativas ao simulador base, sendo de seguida apresentadas as estratégias que o SMEEM passou a possuir, para fazer frente aos desafios propostos no início deste trabalho.

A primeira parte do capítulo apresentou o protocolo de negociação. A segunda parte apresentou sete estratégias de negociação e definiu formalmente cinco dessas estratégias. Salientou-se o facto das estratégias replicarem o comportamento típico dos negociadores humanos em diversas situações negociais e serem definidas por funções matemáticas simples e computacionalmente tratáveis. Salientou-se também a relação existente entre estratégias e táticas de negociação. Em particular, referiu-se que uma estratégia de negociação define uma sequência de táticas, e que uma tática de negociação define uma acção específica a realizar num dado ponto do processo negocial.

Evidenciaram-se duas novas famílias de estratégias desenvolvidas especificamente para o presente simulador. Estratégias que entram com o tempo (restante) de uma negociação e estratégias que imitam o comportamento evi-

denciado pelo outro agente (uma vez que se trata de uma negociação bilateral).

No primeiro grupo (ou família) é de evidenciar a flexibilidade, já que basta alterar o parâmetro β para o acordo final ser alterado completamente. E foi exactamente isso que foi implementado, duas estratégias opostas que tanto concedem tudo de uma vez, logo no início do processo, ou assumem um carácter mais resguardado, e só começam a conceder no final do tempo máximo estabelecido internamente. Destes factos, foi retirado que o tempo numa máquina é extremamente difícil de programar e otimizar, isto porque existe uma diferença entre o tempo dessa máquina ou tempo computacional e o tempo real.

A segunda família de estratégias encontra-se totalmente programada. O agente precisa de conhecer algumas das propostas do opositor para que possa ser posta em prática.

Finalmente, foram apresentados os valores iniciais de cada agente computacional. Descreveu-se também, o caso de estudo, formulado através de valores actuais do presente ano corrente, retirados do MIBEL.

5

Validação Experimental: Negociação Bilateral Multidimensional

Este capítulo descreve uma experiência computacional, designada por experiência negocial integrativa. Os agentes estão equipados com cinco estratégias, das sete descritas no capítulo 4, que suportam a negociação bilateral multidimensional (negociação integrativa). A experiência teve como principal objectivo validar um conjunto de hipóteses e verificar a veracidade das conclusões retiradas da negociação real. Os resultados experimentais permitiram confirmar, em computador, o comportamento das estratégias em estudo, perante determinados parâmetros.

5.1 Introdução

A *negociação bilateral multidimensional*, como o próprio nome indica, inclui duas partes e vários itens de negociação ou dimensões. Este tipo de negociação ocorre em inúmeras situações da vida real, incluindo situações comerciais, laborais e diplomáticas.

O termo *negociação distributiva* utiliza-se, como referido no capítulo anterior, para designar a negociação bilateral unidimensional quando as partes possuem interesses incompatíveis sobre o item em questão. O termo *negociação integrativa* utiliza-se, por sua vez, para designar a negociação bilateral multidimensional quando as partes possuem interesses parcialmente ou totalmente compatíveis sobre os itens em questão. As partes procuram, em regra, identificar alternativas que possibilitem compatibilizar (ou integrar) os seus interesses. Uma parte deseja maximizar o seu valor e a outra parte deseja minimizá-lo, tal como ocorre na vida real (Lewicki et al., 2003).

Este capítulo descreve um sistema experimental composto por dois agentes que negociam através de um protocolo simples de troca de mensagens. Um agente desempenha o papel de vendedor (ou retalhista) e o outro de comprador (ou consumidor). Os agentes negociam o preço da energia eléctrica para um dia normalizado (dividido em seis partes de quatro horas cada).

O sistema experimental serviu de base à realização de uma experiência computacional. A experiência foi designada por *experiência negocial bilateral no mercado de electricidade*, realçando o facto de dizer respeito à negociação bilateral multidimensional (negociação integrativa). A experiência teve por objectivos:

1. investigar o comportamento das estratégias de concessão simples e das estratégias imitativas do comportamento do opositor;
2. validar essas estratégias de negociação através da verificação, em computador, de um conjunto de hipóteses formuladas através de diversas observações práticas do simulador e de conclusões da negociação real, suportadas por evidência experimental.

O método experimental consistiu na *experimentação controlada*. Este método tem sido bastante utilizado na economia e psicologia social. No entanto, na inteligência artificial, o método apenas começou a ser utilizado com regularidade a partir da década de 90.

Como consequência, e também por clareza de exposição, a secção 5.1.1 apresenta uma breve descrição do método experimental, realçando as etapas referentes à realização de uma experiência.

O teste estatístico para analisar os resultados experimentais consistiu na *análise de variância com um factor*. Este teste é vulgarmente utilizado como complemento da experimentação controlada.

Deste modo, por uma questão de completude, a secção 5.1.2 apresenta a descrição sucinta do procedimento estatístico inerente a este teste, que se designa por *teste de hipóteses*.

O capítulo continua com a apresentação das principais conclusões dos estudos experimentais sobre este tipo de negociação bilateral. Efectua-se a apresentação das hipóteses experimentais (secção 5.2), a descrição detalhada do planeamento da experiência negocial (secção 5.3) e, por último, a apresentação e análise dos resultados finais da experiência (secção 5.4).

5.1.1 Experimentação Controlada

A *experimentação controlada* consiste em seleccionar e manipular intencionalmente determinadas características de um sistema, manter constante ou variar aleatoriamente outras características do sistema, e registar o comportamento do sistema perante essas manipulações.

Apresentam-se de seguida quatro aspectos principais da realização de uma experiência e definem-se os conceitos utilizados na experimentação controlada (Lopes, 2004).

1. *configurar o sistema experimental*: consiste em atribuir valores aos parâmetros do sistema experimental, por forma a realizar a experiência com sucesso e obter resultados expressivos;
2. *determinar as variáveis independentes*: consiste em identificar as variáveis independentes e determinar a forma adequada de manipulá-las;
3. *determinar as variáveis dependentes*: consiste em identificar as variáveis dependentes e determinar a forma de registar esses valores;
4. *realizar os ensaios experimentais*: consiste em realizar um determinado número de ensaios para cada grupo das variáveis independentes (o número exacto de ensaios varia de experiência para experiência).

O *sistema experimental* é tipicamente um sistema computacional simples. Regra geral, o sistema possui um conjunto de parâmetros pré-definidos que permitem controlar o seu comportamento. Os parâmetros designam-se por *parâmetros experimentais* e os seus valores são atribuídos directamente pelo experimentador.

As variáveis experimentais são vulgarmente classificadas em variáveis independentes e dependentes. As *variáveis independentes* são as variáveis manipuladas directamente pelo experimentador e que este acredita exercerem um efeito sobre outras variáveis do sistema.

Tipicamente, cada variável independente pode tomar apenas um pequeno número de valores, que se designam por níveis. As *variáveis dependentes* são as variáveis que não são controladas pelo experimentador e que este acredita serem influenciadas ou estarem relacionadas com uma ou várias variáveis independentes.

Um *ensaio experimental* consiste num conjunto de tarefas a realizar pelo experimentador. Um *grupo de ensaios* consiste nos ensaios a realizar para cada combinação dos níveis das variáveis independentes, ou no caso de existir apenas uma variável independente, para cada nível dessa variável.

As tarefas de um ensaio variam de experiência para experiência. No entanto, um ensaio envolve tipicamente as tarefas de manipular as variáveis independentes, de executar o sistema experimental e de registar os valores das variáveis dependentes.

Manipular as variáveis independentes consiste em fixar uma determinada combinação para cada grupo de ensaios. Executar o sistema experimental consiste em executar o programa ou o conjunto de programas que constituem esse sistema. Registar os valores das variáveis dependentes consiste, tipicamente, em escrever os valores dessas variáveis em ficheiros de resultados.

Os *resultados experimentais* consistem, para cada grupo de ensaios, na média aritmética dos valores das variáveis dependentes obtidos em cada ensaio do grupo.

Tipicamente, o número de ensaios é determinado de forma a que os resultados experimentais sejam estatisticamente significativos. O termo *estatisticamente significativo* significa que os resultados são, com uma probabilidade elevada, devidos à intervenção efectiva do experimentador e não a factores externos à experiência.

5.1.2 Teste de Hipóteses

A Inferência Estatística é a parte da estatística que trata das condições sob as quais se faz inferências (ou pressuposições ou generalizações) sobre uma população, com base em dados amostrais. Se uma amostra é representativa de uma população, possui as mesmas características básicas da mesma, e

os resultados amostrais podem ser inferidos como resultados válidos para a população estudada. A inferência estatística envolve questões de dois tipos: a estimação de parâmetros populacionais e os testes de hipóteses (Gisele, 2010).

Os testes de hipóteses (ou testes de significância ou teoria da decisão estatística) constituem procedimentos estatísticos cujo objectivo é tomar decisões baseadas nas evidências fornecidas pelos dados amostrais. Supondo que seja levantada uma hipótese sobre o valor do parâmetro, essa hipótese será considerada verdadeira até que se prove o contrário. Portanto, o teste de hipóteses é o procedimento que nos levará a rejeitar ou aceitar essa hipótese a partir das evidências obtidas nos resultados experimentais.

Uma *hipótese estatística* é uma conjectura sobre o valor de um parâmetro populacional ou referente à comparação entre parâmetros de várias populações. Efectua-se de seguida a descrição sucinta do teste de hipóteses e da análise de variância com um factor.

Em termos genéricos, o teste de hipóteses envolve quatro grandes tarefas (Lopes, 2004):

1. *definir as hipóteses estatísticas*: formular uma *hipótese nula* (H_0) (que se pretende testar) e uma *hipótese alternativa* (complementar) a H_0 (H_1);
2. *identificar a estatística de teste e caracterizar a sua distribuição*: definir uma estatística para verificar H_0 e identificar a sua distribuição amostral;
3. *definir a regra de decisão*: definir uma regra que, com base num valor calculado para a estatística de teste e numa região crítica, determina a aceitação ou rejeição de H_0 ;
4. *calcular a estatística de teste e tomar a decisão final*: determinar um valor para a estatística de teste e aplicar a regra de decisão, isto é, tomar a decisão de aceitar ou rejeitar H_0 .

O teste recorre à *estatística de teste*, uma variável que tem por função verificar a validade de uma hipótese nula H_0 . As principais estatísticas de teste seguem distribuições, quando se admite que H_0 é verdadeira, por exemplo, as distribuições *t-Student* e *F-Snedcor*.

Uma *região crítica* ou *região de rejeição* de uma hipótese nula H_0 é um conjunto de valores de uma estatística de teste que, se H_0 for verdadeira, ocorrem com baixa probabilidade. O conjunto complementar designa-se por

região de aceitação. O teste envolve uma regra de decisão, que é geralmente enunciada do seguinte modo:

- se o valor calculado para a estatística de teste pertencer à região crítica, então rejeita-se a hipótese nula H_0 (aceita-se H_1);
- caso contrário, aceita-se H_0 (rejeita-se H_1).

Uma região crítica é definida com base no valor crítico da estatística de teste para um determinado nível de significância. Um *valor crítico* de uma estatística de teste é um valor extremo que, no caso da hipótese nula H_0 ser verdadeira, tem uma baixa probabilidade de ocorrer. Um *nível de significância* consiste numa probabilidade α de cometer o erro de rejeitar a hipótese H_0 , quando H_0 for verdadeira. Os níveis de significância mais utilizados são $\alpha = 0,05$ (5%), $\alpha = 0,01$ (1%) e $\alpha = 0,001$ (0,1%).

Portanto, o resultado final do teste consiste na aceitação ou rejeição de uma hipótese nula H_0 . A rejeição de H_0 permite concluir que os resultados experimentais são estatisticamente significativos a um nível α .

Análise de Variância (ANOVA)

O termo análise de variância (*ANalysis Of VAriance*) designa um grupo de testes que permitem comparar parâmetros de duas ou mais populações. A maioria dos testes diz respeito à comparação entre médias de $g \geq 2$ populações. Mais precisamente, envolvem a hipótese nula $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_g$, onde μ_p , $1 \leq p \leq g$, representa a média da população p .

A *análise de variância com um factor* é um dos testes de maior interesse prático. As g populações são definidas com base num único critério (habitualmente designado por *factor*). Cada população diz respeito a um valor (ou nível) do factor.

Consideram-se, para análise, g amostras casuais e independentes, provenientes das g populações: uma amostra proveniente de uma população com média μ_1 , outra amostra proveniente de uma população com média μ_2 , e assim sucessivamente.

A tabela 5.1 apresenta os dados para aplicação do teste. Cada amostra p , $1 \leq p \leq g$, possui dimensão n_p (ou, em termos de uma experiência computacional, cada grupo p é constituído por n_p ensaios).

Tabela 5.1: Dados para aplicação da análise de variância com um factor (Lopes, 2004).

<i>grupo</i> ₁	<i>grupo</i> ₂	...	<i>grupo</i> _g
x_{11}	x_{21}	...	x_{g1}
x_{12}	x_{22}	...	x_{g2}
...
x_{1n_1}	x_{2n_2}	...	x_{gn_g}
\bar{x}_1	\bar{x}_2	...	\bar{x}_g

Segue-se a descrição das quatro tarefas referidas no início desta secção para o caso geral do teste de hipóteses (Lopes, 2004).

1. *Definição das hipóteses estatísticas:* as hipóteses nula H_0 e alternativa H_1 são as seguintes:

(i) $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_g$ (a média μ_1 da população que o *grupo*₁ representa é igual à média μ_2 que o *grupo*₂ representa, e assim sucessivamente. Esta hipótese equivale a admitir que a passagem de um nível do factor para outro diferente não afecta estatisticamente as observações);

(ii) $H_1 : \neg H_0$ (as médias não são todas iguais. Esta hipótese equivale a admitir que existe uma diferença significativa entre as médias de, pelo menos, duas populações. A hipótese não é escrita na forma: $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \dots \neq \mu_g$, pois não é necessário que todas as médias sejam diferentes para rejeitar a hipótese nula).

2. *Estatística de teste e caracterização da sua distribuição:* a estatística de teste representa-se por F e define-se pelo quociente da equação 5.1:

$$F = \frac{MQE}{MQD} \quad (5.1)$$

A média quadrática entre grupos é, por sua vez, definida pela equação 5.2:

$$MQE = \frac{SQE}{GLE} \quad (5.2)$$

De forma análoga, a média quadrática dentro dos grupos é definida pela equação 5.3:

$$MQD = \frac{SQD}{GLD} \quad (5.3)$$

A soma de quadrados entre grupos é calculada pela fórmula da equação 5.4:

$$SQE = \sum_{p=1}^g n_p (\bar{x}_p - \bar{x})^2 \quad (5.4)$$

A soma de quadrados dentro dos grupos é, de modo análogo, calculada pela equação 5.5:

$$SQD = \sum_{p=1}^g \sum_{h=1}^{n_p} (\bar{x}_{ph} - \bar{x}_p)^2 \quad (5.5)$$

Os números de graus de liberdade entre grupos GLE e dentro dos grupos GLD são determinados pelo seguinte grupo de equações 5.6:

$$GLE = g - 1; GLD = N - g \quad (5.6)$$

A distribuição da estatística de teste, quando a hipótese nula é considerada verdadeira, consiste na distribuição $F_{GLE, GLD}$.

3. *Definição da regra de decisão*: a regra de decisão consiste na regra enunciada no início desta secção. A região crítica é definida pela relação que se pode verificar em 5.7:

$$F > F_{GLE, GLD}(\alpha) \quad (5.7)$$

onde $F_{GLE, GLD}(\alpha)$ é o limiar da distribuição $F_{GLE, GLD}$ que, quando H_0 é verdadeira, tem uma probabilidade α de ser excedido (por outras palavras, é o valor crítico da estatística de teste para o nível α).

4. *Cálculo da estatística de teste e tomada de decisão*: os resultados obtidos no âmbito da análise de variância com um factor são vulgarmente resumidos numa tabela ANOVA (tabela 5.2). A soma de *SQE* e *SQD* representa-se por *SQT* e a soma de *GLE* e *GLD* representa-se por *GLT*. A rejeição de H_0 permite concluir que existem diferenças estatisticamente significativas entre as médias das g populações. No entanto, o teste não permite esclarecer quais as médias que são de facto diferentes.

Tabela 5.2: Tabela ANOVA (Lopes, 2004).

Fontes de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Média Quadráticas
<i>Entre Grupos</i>	<i>SQE</i>	<i>GLE</i>	<i>MQE</i>
<i>Dentro dos Grupos</i>	<i>SQD</i>	<i>GLD</i>	<i>MQD</i>
<i>Total</i>	$SQT = SQE + SQD$	$GLT = N - 1$	<i>F</i>

O sistema experimental é constituído por dois agentes autónomos, que fazem parte de um simulador composto por um protocolo simples de ofertas alternadas.

Seja $A_g = \{a_{gr}, a_{gc}\}$ o conjunto de agentes autónomos. O agente a_{gr} desempenha o papel de vendedor de energia eléctrica. O agente a_{gc} desempenha o papel de comprador dessa energia, como se fosse um consumidor final.

Considera-se que os agentes negociam apenas entre si, ou seja, o agente a_{gr} negocia apenas com o agente a_{gc} . Por outras palavras, considera-se apenas um único processo negocial que envolve a_{gr} e a_{gc} . Assim, pode-se afirmar que o sistema é caracterizado pelas cinco estratégias que cada um destes dois agentes dispõe para iniciar o processo negocial.

Por fim, é de notar que os ensaios experimentais referidos acima, no caso específico deste trabalho, serão efectuados com um nível de significância de 5%, isto é, $\alpha = 0,05$.

5.2 Hipóteses Experimentais

A presente experiência tem como principal objectivo validar um conjunto de hipóteses de modo a demonstrar quais as estratégias (ou grupo de estratégias) que melhor se adequam aos desejos individuais dos agentes computacionais. No caso do agente que representa a entidade de retalho, estes desejos envolvem a maximização do seu lucro, e no caso do agente que representa a entidade de consumo, a minimização do preço da energia eléctrica. Simplificadamente, demonstrar os comportamentos que são mais, ou menos, favoráveis numa negociação real entre seres humanos.

As hipóteses dizem respeito ao efeito do nível inicial de exigência de cada agente e da velocidade de concessão de uma das partes sobre o resultado final da negociação. Posto isto, pode afirmar-se o seguinte:

- o nível inicial de exigência (expectativa) equivale (está directamente relacionado) à proposta inicial (preço inicial);
- a velocidade de concessão está directamente relacionada com a grandeza ou dimensão de cada concessão e com a frequência que essa concessão terá.

A proposta inicial, a grandeza de cada concessão e a frequência de concessão são três parâmetros importantes da negociação. No entanto, só os dois primeiros é que serão modelados pelas estratégias desenvolvidas. Tendo presente este facto, formulam-se as seguintes hipóteses:

- *Hipótese 1:* A estratégia de concessão baseada no volume de energia (*STR3*) conduz a acordos que proporcionam benefícios superiores aos proporcionados pelos acordos alcançados com a estratégia de concessão simples (*STR2*);
- *Hipótese 2:* A estratégia de concessão simples (*STR2*) conduz a um maior número de propostas trocadas do que a estratégia de concessão baseada no volume de energia (*STR3*);
- *Hipótese 3:* As estratégias baseadas no comportamento imitativo do opositor (*STR6* e *STR7*) conduzem a acordos que proporcionam benefícios superiores aos proporcionados pelos acordos alcançados com a estratégia de concessão simples (*STR2*);
- *Hipótese 4:* As estratégias baseadas no comportamento imitativo do opositor (*STR6* e *STR7*) conduzem a um menor número de propostas trocadas do que a estratégia de concessão simples (*STR2*).

5.3 Método Experimental

O método experimental consiste na experimentação controlada. A experiência envolve as seguintes tarefas:

1. configurar o sistema experimental;
2. construir a variável independente;
3. construir as variáveis dependentes;
4. realizar os ensaios experimentais.

As secções seguintes descrevem detalhadamente estas tarefas. A secção 5.3.1 descreve a configuração do sistema experimental, em particular apresenta os parâmetros experimentais e os respectivos valores. A secção 5.3.2 descreve a construção da variável independente, mais especificamente define a variável independente e apresenta cada um dos seus níveis. A secção 5.3.3 descreve a construção das variáveis dependentes. Finalmente, a secção 5.3.4 efectua a descrição detalhada do procedimento para a realização dos ensaios experimentais.

5.3.1 Parâmetros Experimentais

O sistema experimental possui quatro parâmetros, cujos valores são atribuídos pelo experimentador.

A tabela 5.3 apresenta os parâmetros e os respectivos valores. Os valores baseiam-se, directa ou indirectamente, em dados de referências e no caso prático formulado para esta experiência.

Tabela 5.3: Valores dos parâmetros experimentais.

Parâmetro Experimental	Valor
Preços de referência	6 (diferentes para cada agente)
Percentagem para calcular o limite	50% (Consumidor) 55% (Retalhista)
Percentagem para calcular um preço inicial moderado	35%
Número máximo de propostas de ambos os agentes	15 (propostas)

Alguns valores foram ajustados durante a construção do simulador e dos testes efectuados pelo autor, de modo a ajustar o comportamento das estratégias. Os parâmetros, devidamente instanciados, permitem calcular: (i) o limite, e (ii) um preço inicial moderado. O limite e um preço inicial moderado são, por sua vez, calculados a partir dos preços de referência (como visto na secção 4.4.3). Apresentam-se de seguida os cálculos correspondentes.

Através dos valores de referência retirados do MIBEL, cada agente determina o seu limite a partir dos valores dos preços de mercado base ($P_{ref.i}$) e das percentagens de 50% e 55% desse valor, respectivamente, para o agente comprador a_{gc} e para o agente vendedor a_{gr} . O agente a_{gr} calcula o limite min_i através da diferença $P_{ref.i} - (0,55 \times P_{ref.i})$. Por sua vez, o agente a_{gc} determina o limite $máx_i$ através de $P_{ref.i} + (0,50 \times P_{ref.i})$.

Cada agente calcula um preço inicial moderado também através dos preços de referência e da percentagem de 35%. Deste modo, o agente a_{gr} determina um preço inicial moderado realista por $P_{ref.i} + (0,35 \times P_{ref.i})$. O mesmo é válido para o agente a_{gc} , mas substituindo a adição pela subtracção, isto é, $P_{ref.i} - (0,35 \times P_{ref.i})$.

A tabela 5.4 apresenta os respectivos intervalos de valores. A tabela mostra claramente que o limite min_i do agente a_{gr} é inferior ao limite $máx_i$ do agente a_{gc} , ou seja, teoricamente é sempre possível os agentes chegarem a um acordo. Existe a excepção do ponto extremo dos intervalos P_i , em que se assume que a probabilidade é muito pequena quando se efectua a aleatoriedade destes valores, pelo que se despreza esse facto.

Tabela 5.4: Intervalos de valores possíveis para os principais aspectos negociais.

Intervalo de Valores	Retalhista (a_{gr})	Consumidor (a_{gc})
Para calcular o limite	$min_1 = [13, 335, 29, 633]$ $min_2 = [14, 983, 33, 295]$ $min_3 = [23, 619, 52, 488]$ $min_4 = [20, 421, 45, 380]$ $min_5 = [19, 865, 44, 145]$ $min_6 = [28, 518, 63, 373]$	$máx_1 = [29, 633, 44, 449]$ $máx_2 = [33, 295, 49, 943]$ $máx_3 = [52, 488, 78, 731]$ $máx_4 = [45, 380, 68, 070]$ $máx_5 = [44, 145, 66, 218]$ $máx_6 = [63, 373, 95, 059]$
Para calcular um preço inicial moderado	$P_1 = [29, 633, 40, 004]$ $P_2 = [33, 295, 44, 948]$ $P_3 = [52, 488, 70, 858]$ $P_4 = [45, 380, 61, 263]$ $P_5 = [44, 145, 59, 596]$ $P_6 = [63, 373, 85, 553]$	$P_1 = [19, 261, 29, 633]$ $P_2 = [21, 642, 33, 295]$ $P_3 = [34, 117, 52, 488]$ $P_4 = [29, 497, 45, 380]$ $P_5 = [28, 694, 44, 145]$ $P_6 = [41, 192, 63, 373]$

5.3.2 Variável Independente

A experiência envolve uma variável independente, nomeadamente a estratégia do agente consumidor. A variável possui quatro níveis, que consistem em duas estratégias já existentes no simulador base e em outras duas estratégias recentemente desenvolvidas.

A escolha da variável independente é um aspecto importante de qualquer experiência. No caso presente, a forma das hipóteses experimentais e a definição de variável independente apresentada na secção 5.1.1 indicam claramente que a variável independente deve ser a estratégia de um dos agentes. No entanto, nada referem sobre o papel que o agente deve exercer no processo negocial, podendo ser associada ao retalhista ou ao consumidor.

Surgiu, deste modo, a questão de escolher para variável independente a estratégia do agente retalhista ou do consumidor. Esta questão foi respondida de forma arbitrária, sendo seleccionada a estratégia do agente consumidor.

5.3.3 Variáveis Dependentes

A experiência envolve três variáveis dependentes, nomeadamente o benefício que o preço final proporciona ao agente consumidor, o benefício conjunto que o preço final proporciona a ambos os agentes e a duração do processo negocial. A escolha do benefício do agente consumidor e não do agente retalhista, foi, à semelhança do que acontece com a variável independente, totalmente aleatória. A escolha das outras duas variáveis é imediata, tendo em conta a forma das hipóteses experimentais e a definição de variável dependente apresentada na secção 5.1.1.

A primeira variável consiste no benefício que o agente consumidor a_{gc} auferir com o preço final (ou simplesmente, o benefício do agente comprador). Suponha que os agentes chegam a um acordo em relação ao valor P_i para o preço da energia eléctrica no período i . O benefício B_{prc} é determinado pela equação 5.8:

$$B_{prc} = \sum_{1 \leq i \leq n} \omega_i P_i \quad (5.8)$$

Considera-se que o benefício é nulo quando os agentes não conseguem atingir um acordo, após a troca do número máximo de propostas, isto é, quando chegam a um beco sem saída. No entanto, essas situações não foram registadas.

A segunda variável dita que o benefício conjunto partilhado pelos dois agentes é dado pela equação 5.9.

$$B_{pr} = B_{prc} + B_{prr} \quad (5.9)$$

A terceira variável consiste na duração do processo negocial e é medida, indirectamente, pelo número total de propostas submetidas pelos agentes.

Esta variável pode tomar qualquer valor inteiro entre 1 e 15 (número máximo de propostas). Não se registou o facto dos agentes chegarem a beco sem saída.

5.3.4 Ensaios

A experiência envolve a realização de N ensaios. Mais precisamente, a experiência envolve quatro grupos de ensaios, sendo cada grupo constituído por $n_p = \frac{N}{4}$. Os quatro grupos são apresentados de seguida, dizendo cada um respeito a um nível da variável independente.

1. *grupo₁*: o agente comprador a_{gc} utiliza a estratégia *STR2*;
2. *grupo₂*: a_{gc} utiliza a estratégia *STR3*;
3. *grupo₃*: a_{gc} utiliza a estratégia *STR6*;
4. *grupo₄*: a_{gc} utiliza a estratégia *STR7*.

Os ensaios vão ser, por conveniência de exposição, designados por ensaios finais. A figura 5.1 apresenta o procedimento experimental detalhado para a realização dos ensaios finais.

No procedimento experimental da figura 5.1, o número N de ensaios finais é determinado por decisão do experimentador, podendo ser aumentado, por forma a que os resultados experimentais sejam estatisticamente significativos.

De realçar, também, que o procedimento da figura 5.1 assegura que os quatro grupos de ensaios finais são equivalentes entre si, diferindo apenas no nível da variável independente.

De notar, que para além das duas variáveis dependentes referidas no ponto 4.4 da figura 5.1, é necessário calcular, através da fórmula da equação 5.9, o benefício conjunto de cada ensaio experimental, pelo que se tem de registar também o benefício do agente retalhista (B_{prr}).

1. Fixar o número total de ensaios – atribuir um valor a N .
2. Determinar o número de ensaios a realizar por grupo – calcular $n = \frac{N}{4}$.
3. Para cada grupo de ensaios:
 - 3.1 Manipular a variável independente – fixar a estratégia do agente *comprador* (diferente para cada grupo).
4. Em cada ensaio, de cada grupo:
 - 4.1 Determinar aleatoriamente o agente que inicia o processo negocial;
 - 4.2 Atribuir aleatoriamente uma estratégia ao agente vendedor;
 - 4.3 Executar o sistema experimental – deixar os agentes negociarem até alcançarem um acordo ou chegarem a um beco sem saída;
 - 4.4 Medir as variáveis dependentes – registar o benefício que o preço final proporciona ao agente *comprador* e o número total de propostas trocadas pelos agentes.
5. Para os n ensaios de cada grupo:
 - 5.1 Determinar valores médios para as variáveis dependentes – determinar, para o benefício do *comprador* e o número total de propostas, a média aritmética dos valores medidos em 4.4;

Figura 5.1: Procedimento detalhado para a realização dos ensaios finais (Lopes, 2004).

Foram seleccionadas quatro das sete estratégias existentes, referentes à variável independente. Não foram consideradas as estratégias *STR6* e *STR7*, isto porque as estratégias que modelam comportamentos negociais semelhantes devem, naturalmente, originar resultados semelhantes.

Também foi retirada a estratégia *STR1*, uma vez que esta estratégia tem um comportamento que só apresenta concessões fixas e de valor muito próximo de outros tipos de estratégias.

Por fim, foram omitidas igualmente as estratégias *STR4* e *STR5*. Estas estratégias, como verificado no capítulo 4, têm o problema do parâmetro t ser extremamente difícil de programar. Como se pode constatar em (DevX, 2012) esta mínima contradição não afecta o desempenho destas estratégias, mesmo assim optou-se por não as incluir na experiência realizada.

5.4 Resultados Finais e Discussão

A análise tem por objectivo determinar se o factor “estratégia do agente consumidor” tem um efeito significativo sobre: (i) o benefício que esse agente aufere, (ii) o benefício conjunto para os dois agentes e (iii) a duração do processo negocial. Utilizam-se, para atingir este objectivo, o teste estatístico da análise de variância com um factor.

O número total de ensaios é $N = 160$ e o número de grupos é $g = 4$. A estatística de teste F segue, quando a hipótese nula é considerada verdadeira, a distribuição $F_{3,156}$, na medida em que o número de graus de liberdade entre grupos é $g - 1 = 3$ e o número de graus de liberdade dentro dos grupos é $N - g = 156$. A região crítica é definida pela seguinte relação:

$$F > F_{3,156}(0,05) \cong 2,68$$

sendo o nível de significância α fixo em 0,05 (5%). De realçar, que os valores tabelados são $F_{3,120}(0,05) = 2,68$ e $F_{3,\infty}(0,05) = 2,60$ (Sheskin, 2000). Deste modo, adopta-se o valor $F_{3,120}(0,05) = 2,68$. A hipótese nula deve ser rejeitada, caso o valor calculado para a estatística de teste F seja superior a 2,68.

Apresenta-se na tabela 5.5 os resultados finais do *grupo*₁, do *grupo*₂, do *grupo*₃ e do *grupo*₄. A análise vai incidir sobre os valores das três variáveis dependentes, que serão discutidas nas três secções seguintes. Os ensaios finais foram realizados num computador pessoal equipado com o sistema operativo *Windows 7* e a linguagem de programação *Java*.

Tabela 5.5: Resultados finais da experiência.

Grupo de ensaios	Estratégia do Consumidor	Benefício do Consumidor (\bar{x}_p)	Benefício Conjunto (\bar{x}_p)	Número total de propostas (\bar{x}_p)
<i>grupo</i> ₁	STR2	45,428	88,380	9,450
<i>grupo</i> ₂	STR3	51,085	98,990	4,725
<i>grupo</i> ₃	STR6	47,675	92,424	7,075
<i>grupo</i> ₄	STR7	49,035	94,976	4,231

Os dados para aplicação da análise ANOVA são os dados das tabelas C.1, C.2, C.3 e C.4, presentes no anexo C. O número de ensaios por grupo é $n_p = 40$ ensaios.

5.4.1 Benefício do Agente Consumidor

A análise vai incidir, em primeiro lugar, sobre os valores da variável dependente que representa o benefício de a_{gc} .

Considera-se os resultados das combinações dos seguintes grupos de ensaios: *grupo*₁ com *grupo*₂, *grupo*₁ com *grupo*₃, *grupo*₁ com *grupo*₄, *grupo*₂ com *grupo*₃ e *grupo*₂ com *grupo*₄.

A análise de variância conduz aos resultados apresentados na tabela 5.6.

Tabela 5.6: Efeito da estratégia de a_{gc} sobre o seu benefício.

Grupos	SQE	SQD	SQT	GLE	GLD	GLT	MQE	MQD	F
g_1 e g_2	640,027	1385,095	2025,122	1	78	79	640,027	17,758	36,042
g_1 e g_3	100,955	1438,055	1539,010	1	78	79	100,955	18,437	5,476
g_1 e g_4	260,252	1572,831	1833,083	1	78	79	260,252	20,164	12,906
g_2 e g_3	84,023	1736,208	1820,231	1	78	79	84,023	22,259	3,775
g_2 e g_4	232,596	1601,432	1834,028	1	78	79	232,596	20,531	11,329

O valor da estatística de teste F é calculado através da equação 5.1, pelo que, ao nível de significância de 5%, tem-se $F > F_{3,156}(0,05) \cong 2,68$. A hipótese nula $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ deve, portanto, ser rejeitada para a primeira combinação de grupos, e assim sucessivamente (como visto na secção 5.1.2). Conclui-se que o factor “estratégia do agente consumidor” exerce um efeito significativo sobre o benefício que este agente aufere.

5.4.2 Benefício Conjunto

A análise vai incidir, de seguida, sobre os valores da variável dependente que representa o benefício conjunto dos dois agentes. Consideram-se, de novo, os resultados das combinações dos grupos de ensaios ($grupo_1$ com $grupo_2$, $grupo_1$ com $grupo_3$, $grupo_1$ com $grupo_4$, $grupo_2$ com $grupo_3$ e $grupo_2$ com $grupo_4$).

A análise de variância conduz aos resultados apresentados na tabela 5.7.

Tabela 5.7: Efeito da estratégia de a_{gc} sobre o benefício conjunto.

Grupos	SQE	SQD	SQT	GLE	GLD	GLT	MQE	MQD	F
g_1 e g_2	2251,559	5335,347	7586,906	1	78	79	2251,559	68,402	32,917
g_1 e g_3	327,123	5561,168	5888,291	1	78	79	327,123	71,297	4,588
g_1 e g_4	870,336	5988,473	6858,809	1	78	79	870,336	76,775	11,336
g_2 e g_3	322,172	6648,065	6970,237	1	78	79	322,172	85,232	3,780
g_2 e g_4	862,247	6220,760	7083,007	1	78	79	862,247	79,753	10,811

O valor da estatística de teste F é calculado através da equação 5.1, pelo que, ao nível de significância de 5%, tem-se $F > F_{3,156}(0,05) \cong 2,68$. A hipótese nula $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ deve, portanto, ser rejeitada para a primeira com-

binação de grupos, e assim sucessivamente (como visto na secção 5.1.2). Conclui-se que o factor “estratégia do agente consumidor” exerce um efeito significativo sobre o benefício conjunto que os dois agentes auferem.

5.4.3 Duração do Processo Negocial

A análise vai incidir, por último, sobre os valores da variável dependente que representa a duração do processo negocial. Consideram-se, de novo, os resultados das combinações dos grupos de ensaios (*grupo₁* com *grupo₂*, *grupo₁* com *grupo₃*, *grupo₁* com *grupo₄*, *grupo₂* com *grupo₃* e *grupo₂* com *grupo₄*).

A análise de variância conduz aos resultados apresentados na tabela 5.8.

Tabela 5.8: Efeito da estratégia de a_{gc} sobre a duração do processo negocial.

Grupos	SQE	SQD	SQT	GLE	GLD	GLT	MQE	MQD	F
g_1 e g_2	446,512	1621,875	2068,387	1	78	79	446,512	20,793	21,474
g_1 e g_3	112,812	2752,675	2865,487	1	78	79	112,812	35,291	3,197
g_1 e g_4	546,012	1582,875	2128,887	1	78	79	546,012	20,293	26,906
g_2 e g_3	5,000	92,950	97,950	1	78	79	5,000	1,192	4,196
g_2 e g_4	110,450	1262,750	1373,200	1	78	79	110,450	16,189	6,822

O valor da estatística de teste F é calculado através da equação 5.1, pelo que, ao nível de significância de 5%, tem-se $F > F_{3,156}(0,05) \cong 2,68$. A hipótese nula $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ deve, portanto, ser rejeitada para a primeira combinação de grupos, e assim sucessivamente (como visto na secção 5.1.2). Conclui-se que o factor “estratégia do agente consumidor” exerce um efeito significativo sobre a duração do processo negocial.

5.5 Conclusão

Este capítulo descreveu, no seu todo, uma experiência computacional. A experiência foi designada por experiência negocial integrativa e teve por objectivos: (i) analisar o comportamento das estratégias de concessão simples, bem como das restantes estratégias com efectuações concessões mais complexas e (ii) validar essas estratégias através da verificação de um conjunto de hipóteses formuladas através de diversas observações práticas. O método experimental consistiu na experimentação controlada. O teste estatístico para analisar os resultados experimentais consistiu na análise de variância com

um factor. Os resultados permitiram confirmar quatro hipóteses sobre a negociação bilateral multidimensional (ou negociação integrativa) entre seres humanos.

A primeira parte deste capítulo foi dedicada à apresentação de uma base teórica relativa ao tema da experiência negocial integrativa. O método experimental baseou-se, como referido, na experimentação controlada, aquela onde o sujeito, neste caso o experimentador, exerce a autoridade ou influência dominante, para ajustar o que é requerido ou proposto, usando de paralelismo ou simulando uma via, para atingir um resultado. Na experimentação científica, usa-se a experimentação controlada, para prevenir que outros factores externos ou estranhos à experiência em si, tenham influência nos resultados pretendidos.

Em estatística, o teste de hipóteses é um teste que usa como método a verificação dos dados serem compatíveis com uma hipótese, podendo muitas vezes sugerir a não-validade dessa mesma hipótese. Deste modo, usou-se este teste, que é um procedimento estatístico baseado na análise de uma amostra, através da teoria de probabilidades, usado para avaliar determinados parâmetros que são desconhecidos numa população.

Referiu-se que o sistema era constituído por dois agentes autónomos presentes num simulador com um protocolo de negociação bilateral simples que continha informação sobre o mercado. Salientou-se também que um agente desempenhava o papel de retalhista, que vende energia eléctrica, e o outro agente de consumidor final, dessa mesma energia.

A segunda parte do capítulo apresentou as hipóteses experimentais. Estas hipóteses podem ser, em termos sucintos, enunciadas do seguinte modo:

- As estratégias *STR3*, *STR6* e *STR7* conduzem a acordos que proporcionam benefícios superiores aos proporcionados pelos acordos alcançados com a estratégia *STR2*, no caso das primeiras variáveis dependentes, e a acordos mais rápidos (processos negociais mais rápidos) aos proporcionados pelos acordos alcançados com a estratégia *STR2*, no caso da última variável dependente.

Salientou-se que as hipóteses replicam, indirectamente, os comportamentos teóricos que as estratégias deveriam assumir.

A terceira parte do capítulo descreveu o método experimental. Referiu-se que a experiência foi realizada num computador equipado com o sistema operativo *Windows 7*, com a linguagem Java. Referiu-se também que a experiência envolveu cinco tarefas: (i) configurar o sistema experimental, (ii)

construir a variável independente, (iii) construir as variáveis dependentes e (iv) realizar os ensaios experimentais. Salientou-se que o sistema experimental possuía quatro parâmetros e apresentaram-se os seus valores. Referiu-se que a variável independente consistiu na estratégia do agente consumidor e as variáveis dependentes no benefício que o preço final proporciona ao agente consumidor, no benefício conjunto dos dois agentes e na duração do processo negocial. Efectuou-se a descrição detalhada da realização dos ensaios finais.

A quarta e última parte do capítulo apresentou os resultados experimentais. Em particular, apresentaram-se os resultados finais e efectuou-se a análise desses resultados por forma a verificar que o factor “estratégia do agente consumidor” exercesse um efeito significativo sobre as variáveis dependentes. Salientou-se que os resultados suportaram as hipóteses experimentais:

- Os resultados experimentais suportam a *hipótese 1* (tabela 5.6 e 5.7):

“A estratégia baseada no volume de energia conduz a acordos que proporcionam benefícios superiores aos proporcionados pelos acordos alcançados com a estratégia de concessão simples”;

- Os resultados experimentais suportam a *hipótese 2* (tabela 5.8):

“A estratégia de concessão simples conduz a um maior número de propostas trocadas do que a estratégia baseada no volume de energia”;

- Os resultados experimentais suportam a *hipótese 3* (tabela 5.6 e 5.7):

“As estratégias baseadas no comportamento do opositor conduzem a acordos que proporcionam benefícios superiores aos proporcionados pelos acordos alcançados com a estratégia de concessão simples”;

- Os resultados experimentais suportam a *hipótese 4* (tabela 5.8):

“As estratégias baseadas no comportamento do opositor conduzem a um menor número de propostas trocadas do que a estratégia de concessão simples”.

6

Conclusão

Este capítulo apresenta as conclusões que resultaram do trabalho descrito ao longo desta dissertação. São referidas as contribuições e os avanços concretizados neste novo simulador de contratos bilaterais no mercado de retalho e é efectuado um balanço ao trabalho realizado. São também apresentados os tópicos a considerar em investigação futura.

6.1 Principais Aspectos e Síntese de Resultados

A recente liberalização levou a crescentes modificações no sector eléctrico, tornando os mercados de electricidade um caso de estudo actual e muito interessante. Deste modo, o desenvolvimento de ferramentas de análise que permitam avaliar a evolução do seu comportamento face à dinâmica das suas constantes transformações é, à partida, e por si só uma mais valia para tais mercados.

Este trabalho abordou, pelo menos em parte, os aspectos teóricos e os desafios práticos que a criação de um simulador multi-agente de mercados energéticos competitivos levanta, por forma a garantir os benefícios da liberalização. O objectivo geral deste trabalho foi, portanto, a aplicação deste simulador ao mercado retalhista, onde se representam as entidades de mercado através de agentes autónomos, que negociam por meio de um protocolo e um conjunto de estratégias de negociação. Para atingir o objectivo de avaliar o comportamento das estratégias desenvolvidas, tendo como referência dados do mercado diário do MIBEL, aplicou-se ainda esta ferramenta na realização de uma experiência negocial integrativa.

As estratégias de negociação desenvolvidas baseiam-se no comportamento dos negociadores humanos em diversas situações negociais, sendo integradas num simulador de negociação para agentes computacionais autónomos. Estas estratégias são formalizadas por funções matemáticas simples, computacionalmente tratáveis, pelo que faz todo o sentido dotar os agentes de comportamento estratégico. Em particular, as estratégias baseiam-se em:

- estratégias de cedência (de concessão) utilizadas frequentemente pelos negociadores humanos;
- estratégias que têm por base novos factores, como por exemplo, o comportamento anterior que o agente opositor demonstrou na negociação.

O simulador SMEEM foi validado através da realização de uma experiência computacional, que se designa por experiência negocial integrativa. O método experimental consistiu na experimentação controlada. O teste estatístico para analisar os resultados experimentais consistiu na análise de variância com um factor (ANOVA). O procedimento estatístico inerente a este teste designa-se por teste de hipóteses. O caso prático que serviu de base à experiência consistiu numa negociação entre um retalhista e um consumidor do sector, tendo os seis preços adoptados sido retirados de valores reais diários, e os seis volumes de um perfil de carga genérico.

No âmbito da validação foi considerado um conjunto de hipóteses experimentais que podem ser, em termos sucintos, enunciadas do seguinte modo:

- As estratégias *STR3*, *STR6* e *STR7* conduzem a acordos que proporcionam benefícios superiores aos proporcionados pelos acordos alcançados com a estratégia *STR2*, no caso das primeiras variáveis dependentes, e a acordos mais rápidos (processos negociais mais rápidos) aos proporcionados pelos acordos alcançados com a estratégia *STR2*, no caso da última variável dependente.

Os resultados experimentais suportaram as hipóteses, permitindo confirmar as conclusões sobre a negociação entre seres humanos. Posto isto, os resultados mostraram que o comportamento estratégico dos agentes foi o esperado. As estratégias de concessão simples, presentes no simulador base, à parte de pequenas alterações de que foram alvos, adoptam comportamentos semelhantes aos registados quando se analisa uma negociação real. No que toca às estratégias baseadas no tempo restante de negociação, estas foram implementadas tendo em conta que o tempo real e o tempo do sistema não são da mesma grandeza, tornando difícil a sua modelação. As estratégias que utilizam o comportamento anterior do adversário, para formular novos preços, tornaram mais realista o simulador actual, na medida que integraram componentes do oponente na construção de uma nova contra-proposta.

6.2 Trabalho Futuro

Ao longo da dissertação, foram referidos alguns problemas que podem vir a ser objecto de trabalho futuro. Do conjunto de problemas referidos, destacam-se, pela sua importância, os seguintes: (i) combinar as estratégias, (ii) problemas com a modelação do tempo, (iii) uniformização da interface do simulador SMEEM, (iv) novas estratégias, (v) novas estratégias e variáveis dependentes na experiência computacional e (vi) combinações binárias.

Apresenta-se de seguida cada um destes problemas e referem-se alguns aspectos que podem facilitar a sua resolução futura.

1. Combinar as estratégias – No presente simulador, as principais estratégias formuladas, que possuem como parâmetros principais o tempo de negociação e o preço antigo do opositor, não se encontram programadas de modo a trabalharem em conjunto. Faratin et al. (1998) estudam três mecanismos diferentes para combinar estratégias individuais. Este facto

permite considerar cenários onde, por exemplo, as táticas de tempo e de comportamento dependente são combinadas.

Além disso, em alguma literatura da área, já se encontram duas técnicas para a criação deste tipo de mecanismos, uma baseada em tópicos de negociação individuais de todas as táticas de imitação e outra baseada em concessões individuais. Resultados experimentais demonstraram que as duas técnicas apresentam novos ganhos, em média, mais elevados do que os conseguidos com o método original. Mas ao mesmo tempo com mais restrições, podendo aumentar o risco da negociação falhar.

2. Problemas com a modelação do tempo – Como referido ao longo deste trabalho, a modelação e programação das duas derivações da estratégia baseada no tempo restante da negociação são, de facto, muito complicadas. Um modo de otimizar a forma como podem ser calculados os factores de concessão, ou seja, a velocidade com que se irá fazer cedências, seria substituir o método Java *System.currentTimeMillis()*. Este método, apesar de preciso, é relatado na literatura da especialidade como sendo dependente do sistema operativo e da máquina física onde o simulador, ou simuladores idênticos, trabalham, pelo que poderá levar à perda de alguma precisão ao longo da simulação.

3. Uniformização da interface do simulador SMEEM – No capítulo 4 foram apresentadas as diferentes janelas da interface que o presente simulador utiliza para realizar a interligação com o utilizador (experimentalizador).

Os desenvolvimentos actuais, na área dos sistemas multi-agente, permitem cada vez mais simular negociações em computador, através de agentes autónomos. Neste sentido, desenvolver simuladores que tenham o mesmo tipo de interface facilitaria a comunicação com o utilizador final.

4. Novas estratégias – As estratégias presentes no simulador SMEEM não modelam todos os tipos de comportamentos que os agentes poderão assumir ao longo de um processo negocial. São propostos dois novos tipos de estratégias.

Em primeiro lugar, a estratégia que modele as próximas contra-propostas de um determinado agente de mercado, tendo como base o tempo do contrato, nomeadamente após o término da negociação e a entrega do serviço.

Em segundo lugar, uma estratégia que seja dependente dos recursos disponíveis. Tratam-se de funções similares às funções das estratégias implementadas, que contam com o tempo restante da negociação, à exceção de que o domínio das novas funções diz respeito aos recursos disponíveis e não o tempo.

- 5. Novas variáveis independentes e dependentes** – A experiência negocial integrativa não utiliza, como foi referido em capítulos anteriores, todas as estratégias que o simulador SMEEM dispõe. Assim, propõe-se que no futuro se incluam outras estratégias neste tipo de experiências. Também se propõe que novas variáveis sejam analisadas como variáveis dependentes, como por exemplo, o resultado final da negociação, isto é, verificar se os agentes chegam a acordo ou a um beco sem saída.
- 6. Combinações binárias** – Na experiência realizada, o número total de ensaios N foi determinado aleatoriamente. O trabalho futuro deverá estender este facto, utilizando um segundo tipo de teste estatístico para verificar as diferenças entre as variáveis do sistema experimental, como por exemplo o *Teste de Sheffé*, que utiliza combinações binárias para tal fim.

Referências Bibliográficas

- aicep Portugal Global (2008). O Sector Eléctrico. Governo de Portugal Ministério dos Negócios Estrangeiros.
- Albadi, M. H. & El-Saadany, E. F. (2008). A summary of demand response in electricity markets. ELSEVIER - Electric Power Systems Research, 78, 1989–1996.
- Bellifemine, F., Caire, G., & Greenwood, D. (2007). Developing Multi-Agent Systems with JADE.
- DevX (2012). Bring java's system.currenttimemillis() back into the fold for transaction monitoring. <http://www.devx.com/Java/Article/28685>.
- ERSE (2011a). Entidade reguladora dos serviços energéticos. <http://www.erse.pt/pt/supervisaodemercados/Paginas/default.aspx>.
- ERSE (2011b). Tarifas e Preços para a Energia Elétrica e Outros Serviços em 2012 e Parâmetros para o Período de Regulação 2012-2014.
- Faratin, P., Sierra, C., & Jennings, N. R. (1998). Negotiation decision functions for autonomous agents. Robotics and Autonomous Systems, 24 (3-4), 159–182.
- FIPA (2012). The foundation of intelligent physical agents. <http://www.fipa.org/>.
- Gisele (2010). Teste de Hipóteses.
- KQML (2012). Kqml: The knowledge query and manipulation language. <http://www.cs.umbc.edu/kqml/>.
- Lewicki, R., Barry, B., Saunders, D., & Minton, J. (2003). Negotiation.
- Lopes, F. (2004). Negociação entre Agentes Computacionais Autónomos. Engenharia informática e de computadores, Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico.

- Lopes, F. & Coelho, H. (2010). Strategic and tactical behaviour in automated negotiation. International Journal of Artificial Intelligence, 4(S10), 29.
- Lopes, F., Mamede, N., Novais, A. Q., & Coelho, H. (2002). A negotiation model for autonomous computational agents: Formal description and empirical evaluation. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 12, 195–212.
- Lopes, F., Rodrigues, T., & Sousa, J. (2012). Negotiating bilateral contracts in a multi-agent electricity market: A case study. 1st Workshop on Intelligent Agent Technology, Power System and Electricity Markets (IATEM-12), (pp. 326–330).
- Lopes, F., Sousa, J., & Coelho, H. (2010). Negotiation and risk management in multi-agent energy markets. Internal Report, National Research Institute (LNEG), Portugal, (pp.7).
- Marques, P. (2008). Simulador multi-agente para o mercado eléctrico. Engenharia informática e de computadores, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- MIBEL (2009). Descrição do Funcionamento do MIBEL.
- MIBEL (2011). mibel mercado ibérico de electricidade. <http://www.mibel.com/>.
- MIBEL (2012). Boletim Mensal MIBEL Fevereiro de 2012.
- Morais, H. (2010). Gestão de recursos energéticos nas smartgrids. Engenharia electrotécnica - sistemas eléctricos de energia, Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- NYSEG (2012). New york state electric and gas corporation. <http://www.nyseg.com/>.
- OAA (2012). The open agent architecture. <http://www.ai.sri.com/oaa/>.
- OECD (2011). Glossary of industrial organisation economics and competition law. <http://www.oecd.org/home/>.
- O'Higgins, N. & Sbriglia, P. (2006). Are imitative strategies game specific? experimental evidence from market games.
- OMIE (2012). Operador do mercado ibérico, pólo espanhol. <http://www.omel.es>.
- Paiva, A.: IST - Instituto Superior Técnico, Agentes Inteligentes e Sistemas Multi-agente Interação, Negociação e Cooperação entre Agentes.

- Paiva, J. (2007). Redes de Energia Eléctrica: uma análise sistemática, volume 2.
- Pereira, B. (2011). Contratos bilaterais em mercados multi-agente de energia eléctrica: Protocolo de ofertas alternadas. Engenharia electrotécnica - ramo de energia, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- Pereira, I. (2004). Sistema Multi-Agente para Apoio à Negociação em Mercados de Electricidade. Engenharia electrotécnica e de computadores, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro - Departamento de Engenharias Área de Engenharia Electrotécnica e de Computadores.
- Rodrigues, T. (2011). Estratégias para negociação de contratos bilaterais em mercados multi-agente de energia eléctrica. Engenharia electrotécnica - ramo de energia, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- Saraiva, J., Silva, J., & Leão, M. (2002). Mercados de Electricidade - Regulação e Tarificação de Uso das Redes.
- Savitch, W. (2012). Java: An Introduction to Problem Solving and Programming.
- SEPIA (2012). Sepia: Complex adaptive strategies - new tools for the power industry. <http://www.htc.honeywell.com/projects/sepia/>.
- Sheskin, D. (2000). Handbook of Parametric and Nonparametric Statistical Procedures.
- Sánchez, J. (2008). Estudo da Negociação de Contratos Bilaterais de Energia em Sistemas Predominantemente Hidráulicos. Engenharia eléctrica, Universidade de Brasília - Faculdade de Tecnologia - Departamento de Engenharia Elétrica.
- Sousa, J.: ISEL - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, A liberalização do sector eléctrico e o Mercado Ibérico de Electricidade (MIBEL).
- Wooldridge, M. (1999). Intelligent Agents. Gerhard Weiss.
- Wooldridge, M. & Jennings, N. (1995). Intelligent agents: Theory and practice. The Knowledge Engineering Review, 10(2), 115–152.
- A figura presente na capa deste trabalho foi retirada da seguinte fonte: <http://www.respirandodireito.blogspot.com> (em 04/12/2011).



Dados de referência de um caso real existente no MIBEL

Este apêndice apresenta uma tabela com os resultados do mercado diário retirados do MIBEL, representando a energia eléctrica e os preços dessa mesma energia transaccionados entre Portugal e Espanha num certo dia do mês de Abril de 2012. Denotar que estes valores são valores horários representados em euros por megawatt-hora.

Figura A.1: 11/04/2012 – Preço horário do mercado diário (OMIE, 2012).

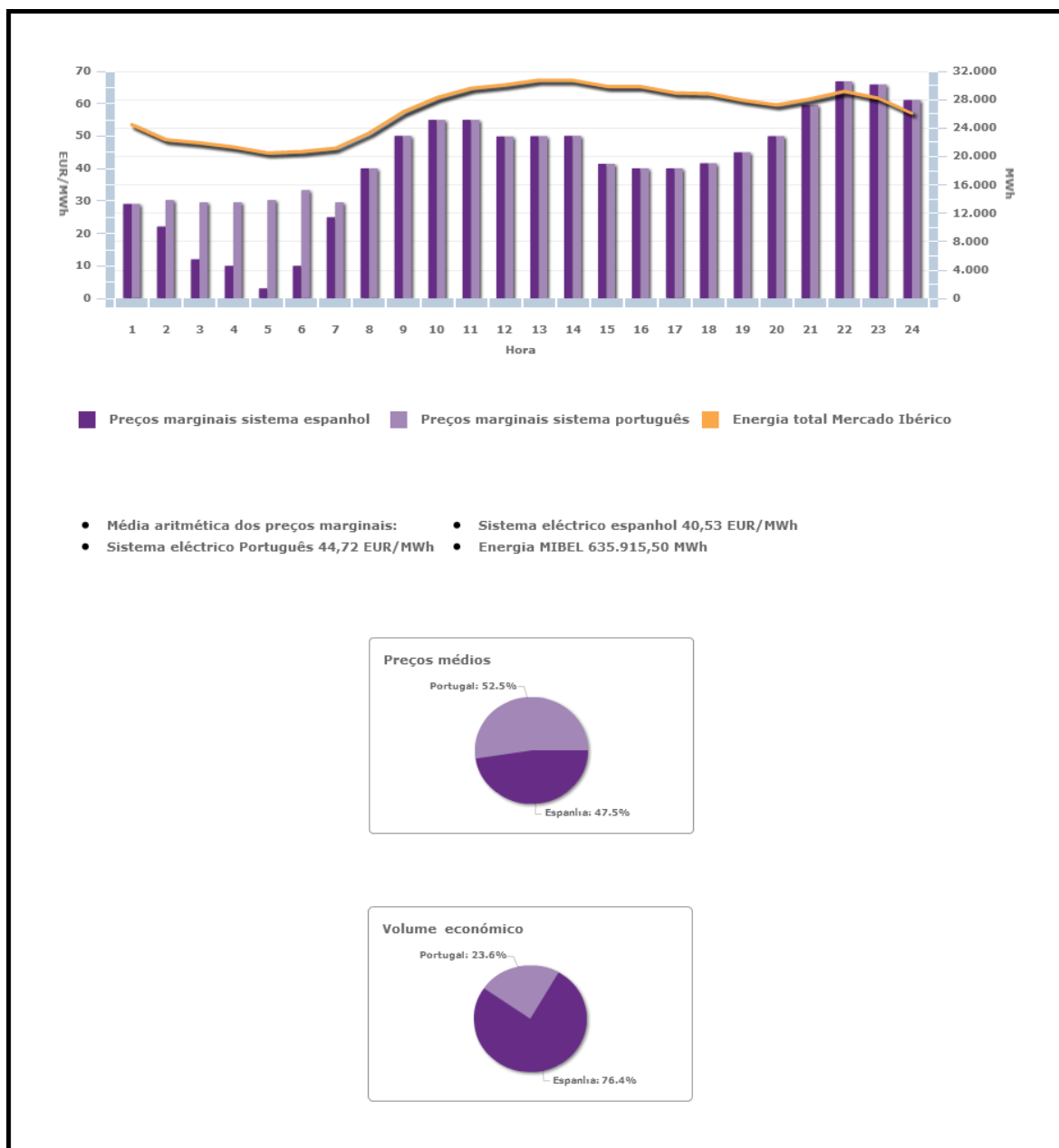


Tabela A.1: Resultados do Mercado – Preço do mercado diário (EUR/MWh).

	Preço marginal no sistema espanhol (EUR/MWh)	Preço marginal no sistema português (EUR/MWh)	Energia total de compra sistema espanhol (MWh)	Energia total de venda sistema espanhol (MWh)	Energia total de compra sistema português (MWh)	Energia total de venda sistema português (MWh)	Energia total do mercado Ibérico (MWh)	Importação de Espanha de Portugal (MWh)	Exportação de Espanha para Portugal (MWh)
1	29,03	29,03	18.733,6	20.786,6	5.736,6	3.683,6	24.470,2	0	2.053,0
2	22,07	30,31	16.854,1	19.054,1	5.518,9	3.318,9	22.373,0	0	2.200,0
3	12,0	29,57	16.702,5	18.769,5	5.244,0	3.177,0	21.946,5	0	2.067,0
4	10,0	29,62	16.265,2	18.110,2	5.053,6	3.208,6	21.318,8	0	1.845,0
5	3,0	30,31	15.521,9	17.161,9	4.976,7	3.336,7	20.498,6	0	1.640,0
6	10,0	33,3	15.728,3	17.105,3	4.986,1	3.589,1	20.694,4	0	1.377,0
7	25,0	29,57	16.504,9	17.899,9	4.677,6	3.282,6	21.182,5	0	1.395,0
8	40,0	40,0	18.442,9	19.560,7	4.899,6	3.781,8	23.342,5	0	1.117,8
9	50,03	50,03	21.062,0	21.809,1	5.206,4	4.459,3	26.268,4	0	747,1
10	55,02	55,02	22.263,7	23.415,3	6.015,7	4.864,1	28.279,4	0	1.151,6
11	55,0	55,0	23.163,5	24.584,6	6.443,5	5.022,4	29.607,0	0	1.421,1
12	49,9	49,9	23.561,2	25.330,6	6.547,3	4.777,9	30.108,5	0	1.769,4
13	50,0	50,0	24.154,9	25.945,2	6.612,3	4.822,0	30.767,2	0	1.790,3
14	50,03	50,03	24.247,1	25.907,2	6.460,3	4.800,2	30.707,4	0	1.660,1
15	41,46	41,46	23.428,0	25.265,9	6.462,7	4.624,8	29.890,7	0	1.837,9
16	40,03	40,03	23.353,7	25.210,1	6.502,9	4.646,5	29.856,6	0	1.856,4
17	40,0	40,0	22.556,1	24.404,4	6.424,5	4.576,2	28.980,6	0	1.848,3
18	41,58	41,58	22.533,6	24.242,1	6.341,4	4.632,9	28.875,0	0	1.708,5
19	45,0	45,0	21.673,6	23.304,3	6.260,0	4.629,3	27.933,6	0	1.630,7
20	50,0	50,0	21.113,1	22.335,5	6.167,4	4.945,0	27.280,5	0	1.222,4
21	59,63	59,63	21.765,0	22.658,2	6.346,1	5.452,9	28.111,1	0	893,2
22	66,85	66,85	22.499,4	23.373,3	6.666,4	5.792,5	29.165,8	0	873,9
23	65,86	65,86	21.571,9	22.685,3	6.627,8	5.514,4	28.199,7	0	1.113,4
24	61,15	61,15	19.750,4	21.149,8	6.307,1	4.907,7	26.057,5	0	1.399,4

B

Perfil de carga de um caso real

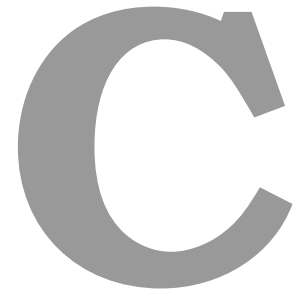
Um perfil de carga é criado usando as medições de electricidade de um determinado cliente a intervalos regulares, tipicamente de uma hora ou menos, e fornece uma representação precisa do padrão de consumo desse cliente tipo ao longo do tempo. Uma vez que esta acção requer o uso de contadores de intervalos muito caros, não tem sido boa a relação custo-eficácia para medir todas as contas desta maneira. Então, muitas entidades realizam estudos de carga usando a medição de intervalos em amostras de grupos de clientes ou segmentos, e usam os resultados para representar o padrão do segmento de consumo (NYSEG, 2012). É apresentado neste anexo um perfil de carga de um determinado consumidor tipo e uma tabela resumo com os valores para cada período diário criado.

Tabela B.1: Perfil de carga de um consumidor com alto fator de carga (A partir de 1 de Janeiro de 2003).

	HR1	HR2	HR3	HR4	HR5	HR6	HR7	HR8	HR9	HR10	HR11	HR12	HR13	HR14	HR15	HR16	HR17	HR18	HR20	HR21	HR22	HR23	HR24		
Janeiro	18.6890	15.2061	6.7019	5.7304	6.2623	23.8782	23.8782	80.6376	105.1073	98.1478	125.4448	112.8828	59.0064	12.1759	17.1765	17.2518	17.8868	17.6014	18.2082	18.6264	18.7816	18.2472	18.1416	18.4165	
Sábado	18.6287	15.6467	5.6702	5.0732	6.0568	6.3432	10.4403	19.2308	19.0430	19.2375	21.8625	22.1267	17.2748	17.3752	17.7018	18.2376	18.6220	17.9220	18.2368	18.1543	18.0248	18.4786	18.3742	18.7748	
Domingo	18.4834	14.6488	8.0614	7.0088	6.1284	7.0088	12.6226	16.2384	17.3808	16.9384	17.5804	17.1688	17.5804	17.2000	17.8404	18.2376	18.6220	18.0248	18.2368	18.1543	18.0248	18.4786	18.3742	18.7748	
Fevereiro	20.0452	14.2307	7.2874	5.8927	6.0667	6.5940	12.7972	18.3788	107.6393	100.7037	124.2977	118.3706	62.9870	13.0101	12.0192	10.7988	10.7988	17.1780	18.4000	18.6663	18.1932	19.3922	19.4965	21.0188	
Sábado	17.6488	14.4873	6.3365	6.4432	6.3365	6.2893	12.6662	17.6000	17.9245	17.3888	21.2973	20.1990	18.2935	18.1282	18.6970	18.9635	19.0623	19.3938	19.1972	18.9922	19.3032	19.4965	21.0188	21.5688	
Domingo	18.9020	15.2075	6.3365	6.4432	6.3365	6.2893	12.6662	17.6000	17.9245	17.3888	21.2973	20.1990	18.2935	18.1282	18.6970	18.9635	19.0623	19.3938	19.1972	18.9922	19.3032	19.4965	21.0188	21.5688	
Março	18.9487	15.2662	7.0733	6.1490	6.0103	13.9700	10.8103	18.4213	10.8103	18.4213	19.3365	18.3213	17.9365	18.3213	18.7335	18.5447	14.4431	17.1460	18.6565	18.6565	19.4335	19.6347	19.0460	19.3045	
Sábado	18.9786	17.8742	12.0278	13.1440	8.4000	5.4288	6.5066	18.6532	18.6532	16.4274	20.5380	18.3734	18.3594	18.6620	17.8630	17.2880	17.3504	18.8280	18.9846	17.4120	17.7346	17.1858	17.5214	17.9876	
Domingo	18.6732	16.0865	14.2498	13.9285	14.2968	17.9132	17.9132	17.9132	17.9132	17.9132	17.9132	17.9132	17.9132	17.9132	17.9132	17.9132	17.9132	17.9132	17.9132	17.9132	17.9132	17.9132	17.9132	17.9132	
Abril	6.6880	4.8207	2.4763	1.2927	1.6382	1.4464	17.2074	58.7253	64.3761	71.5446	91.7981	77.0333	45.3593	81.9384	88.5706	39.0479	6.3720	7.5970	7.4276	7.5970	8.1752	7.8824	7.2767	7.2767	
Sábado	6.9282	5.3070	2.9720	1.6834	1.5098	1.7480	2.8240	6.8938	13.4924	13.0306	11.9326	6.8938	6.4542	6.7012	7.0054	7.1904	7.0720	6.6486	6.0084	7.2320	8.5238	7.5448	7.3560	7.2008	
Domingo	7.2078	7.3834	4.2658	1.7900	1.2621	1.3186	3.0037	6.8008	6.8704	6.6426	6.8746	6.8746	6.8746	6.8746	6.8746	6.8746	6.8746	6.8746	6.8746	6.8746	6.8746	6.8746	6.8746	6.8746	
Maio	16.9784	12.3784	6.7037	5.7491	5.4308	5.9439	28.7428	73.2560	82.5137	98.4087	94.7597	52.0630	102.3704	83.1704	83.1704	60.2767	18.1468	14.2317	15.4084	15.7215	15.8223	16.2474	16.0074	16.5931	
Sábado	12.9433	7.6732	2.3367	2.4092	2.0500	2.4642	3.7733	10.2367	17.5827	18.6273	20.5467	15.8967	11.0500	13.3275	13.7492	12.1780	12.2575	11.5800	11.3740	12.6225	12.0288	12.2598	12.0747	12.4543	
Domingo	13.6286	13.0452	7.7826	2.4469	2.8924	2.6720	2.9734	6.2558	21.0982	21.9286	20.9486	15.7074	22.1646	18.4388	17.4068	17.4068	13.0045	12.6922	12.9000	12.8966	13.0968	13.2902	13.4680	13.9500	
Junho	16.9970	10.4992	2.9450	3.0833	3.2770	4.2096	17.7640	58.3867	61.4032	52.1597	63.4232	27.9456	28.8525	30.7152	23.8742	15.5875	15.5875	15.5875	15.5875	15.5875	15.5875	15.5875	15.5875	15.5875	15.5875
Sábado	17.6083	16.8265	12.8700	8.0833	4.0833	3.2682	3.2682	6.1403	6.2682	6.1403	6.2682	6.1403	6.2682	6.1403	6.2682	6.1403	6.2682	6.1403	6.2682	6.1403	6.2682	6.1403	6.2682	6.1403	6.2682
Domingo	17.6493	13.3611	6.4480	3.2160	4.1263	3.4760	5.9059	87.3167	74.2310	93.4870	89.6867	51.2404	83.6420	78.6693	67.3429	19.0057	16.4324	16.4324	16.4324	16.4324	16.4324	16.4324	16.4324	16.4324	16.4324
Julho	16.8542	13.9040	4.8834	3.1920	3.2440	3.4126	9.4778	11.8532	52.7064	43.8574	51.2702	48.6502	17.3056	15.4678	16.2968	16.3800	16.3800	16.3800	16.3800	16.3800	16.3800	16.3800	16.3800	16.3800	16.3800
Sábado	17.4420	14.8036	7.5704	4.4242	3.6020	3.7527	3.7527	6.3045	96.2884	86.7444	102.1534	51.2582	55.6064	105.3043	98.8947	79.7806	20.0610	16.3504	16.3504	16.3504	16.3504	16.3504	16.3504	16.3504	16.3504
Domingo	17.2000	12.1416	4.5032	2.7950	2.8768	2.9682	8.4300	44.1956	52.8197	45.1438	54.1290	49.7303	18.7610	15.3850	16.1065	16.3365	16.6703	16.1864	16.1864	16.1864	16.1864	16.1864	16.1864	16.1864	16.1864
Agosto	16.9785	14.8462	8.9047	3.6547	3.0998	2.3215	2.8000	6.0520	18.7702	18.9682	19.2433	16.3365	15.8035	16.1200	16.1968	16.3485	16.2700	16.0465	15.9535	16.5700	16.7133	16.0735	17.1332	17.8832	
Sábado	17.7448	12.8860	6.6200	3.3704	3.7792	3.6264	4.4721	40.1170	72.5004	101.0369	88.3797	53.9863	96.2777	93.8456	81.5217	13.4232	13.4232	13.4232	13.4232	13.4232	13.4232	13.4232	13.4232	13.4232	13.4232
Domingo	17.9845	14.2662	6.6576	4.6910	4.9574	4.4721	4.0170	7.2500	105.8087	85.3842	42.2562	38.7802	19.0768	17.0482	15.3826	17.6247	16.4267	16.0298	17.1625	17.8440	16.9343	16.5624	17.3160	17.6874	
Setembro	17.1326	14.8602	7.8788	5.1368	3.4932	3.1400	4.2432	9.0384	17.8280	17.0520	18.9102	16.3365	16.3365	16.3365	16.3365	16.3365	16.3365	16.3365	16.3365	16.3365	16.3365	16.3365	16.3365	16.3365	16.3365
Domingo	18.0935	16.3275	14.0743	10.8720	12.4637	11.8222	11.8222	11.8222	11.8222	11.8222	11.8222	11.8222	11.8222	11.8222	11.8222	11.8222	11.8222	11.8222	11.8222	11.8222	11.8222	11.8222	11.8222	11.8222	11.8222
Outubro	16.9746	15.0904	5.5328	3.6914	3.4632	3.8184	5.1464	17.5626	16.9172	16.2642	16.9172	17.2376	16.1536	16.1536	16.1536	16.1536	16.1536	16.1536	16.1536	16.1536	16.1536	16.1536	16.1536	16.1536	16.1536
Domingo	16.5260	15.8029	12.0433	11.2402	11.5486	13.0633	4.5765	7.8384	30.1725	69.2962	105.6060	94.6817	56.5460	102.0941	98.3676	83.6586	19.3254	16.2520	15.1843	16.3365	17.8455	16.4050	16.6736	16.0247	
Novembro	16.5925	12.1300	3.1732	3.0035	3.7300	4.0450	9.9665	19.0482	22.9720	18.3963	18.6465	15.6085	15.0084	15.2785	16.1633	16.3842	16.3842	16.3842	16.3842	16.3842	16.3842	16.3842	16.3842	16.3842	16.3842
Domingo	16.0046	14.6428	5.9325	4.7944	3.7768	4.4624	4.0450	9.9665	19.0482	22.9720	18.3963	18.6465	15.6085	15.2785	16.1633	16.3842	16.3842	16.3842	16.3842	16.3842	16.3842	16.3842	16.3842	16.3842	16.3842
Dezembro	17.9789	13.7447	8.7472	7.2884	7.0820	6.6369	28.1488	76.5234	91.5551	84.3376	111.3661	103.2840	53.7494	106.6666	99.6073	65.9706	18.9766	16.2500	15.3862	17.0304	17.6616	17.2540	17.4322	18.9504	
Sábado	16.8762	14.1372	7.2696	7.7837	8.0198	8.1988	11.6384	19.0668	22.0574	28.1990	29.4080	23.2068	18.9528	16.2010	17.1463	17.7800	17.5020	17.3294	17.6956	17.9494	17.8776	18.2394	18.1072	18.3428	
Domingo	18.5884	18.1865	13.3644	5.7400	6.3870	7.8870	10.0933	16.8481	17.3788	17.0375	17.3788	17.2012	17.5128	18.1213	18.0090	18.7033	19.0403	18.4522	18.6220	18.6220	18.6220	18.6220	18.6220	18.6220	18.6220
Somatório de Todas as Dias	37.73	30.06	13.58	12.81	12.81	14.51	35.31	99.72	123.32	116.47	145.01	132.54	78.43	130.03	134.89	88.37	35.62	35.62	36.28	36.68	37.24	36.85	37.43	37.43	
Fevereiro	38.38	23.08	16.75	14.29	17.65	14.60	34.93	101.12	125.83	120.55	144.32	138.87	81.10	131.88	139.79	89.63	37.18	36.13	36.77	37.93	37.62	37.27	37.55	37.55	
Março	37.07	32.24	24.81	25.01	21.32	18.55	37.01	89.57	119.78	105.44	134.34	113.12	78.89	123.39	125.45	70.98	35.03	34.35	34.26	35.65	36.22	36.50	36.44	36.34	
Abril	13.76	11.16	6.10	3.04	3.02	2.98	19.31	63.67	94.25	81.63	101.64	88.06	52.83	88.72	95.26	46.00	13.24	12.18	13.65	14.55	15.41	15.72	15.14	16.21	
Maio	30.23	22.73	11.82	8.04																					

Tabela B.2: Resumo do perfil de carga dividido nos seis períodos horários.

Volume 1 [MWh]	Volume 2 [MWh]	Volume 3 [MWh]	Volume 4 [MWh]	Volume 5 [MWh]	Volume 6 [MWh]
0,09	0,16	0,52	0,44	0,14	0,15
0,10	0,17	0,53	0,44	0,15	0,15
0,12	0,17	0,47	0,40	0,14	0,15
0,03	0,09	0,36	0,28	0,05	0,06
0,07	0,13	0,46	0,37	0,11	0,11
0,09	0,16	0,52	0,39	0,13	0,14
0,08	0,14	0,48	0,35	0,14	0,14
0,08	0,15	0,51	0,41	0,13	0,14
0,09	0,16	0,49	0,39	0,14	0,14
0,10	0,17	0,46	0,39	0,14	0,14
0,09	0,18	0,43	0,40	0,13	0,13
0,10	0,16	0,48	0,40	0,14	0,14



Resultados da Experiência Negocial Multidimensional

Este apêndice apresenta os resultados dos 160 ensaios realizados no âmbito da experiência negocial integrativa, relativos aos seguintes grupos:

- *grupo₁*: o agente comprador a_{gc} utiliza a estratégia “*Low-Priority Concession*”;
 - *grupo₂*: a_{gc} utiliza a estratégia “*E-R Concession*”;
 - *grupo₃*: a_{gc} utiliza a estratégia “*Tit-For-Tat, “Opponent” Behaviour*”;
 - *grupo₄*: a_{gc} utiliza a estratégia “*Random Tit-For-Tat, “Opponent” Behaviour*”.
-

Tabela C.1: Resultados dos 40 ensaios do grupo 1.

Nº	Variável Independente		Variável Dependente										Resultado Final	Benefício Conjunto
	Consumidor		Retailista				Consumidor				Duração da Negociação (Número de Propostas)			
	Estratégia		Preço (€/MWh)	Limite Min. (€/MWh)	Preço Final (€/MWh)	Benefício (€/MWh)	Preço (€/MWh)	Limite Máx. (€/MWh)	Preço Final (€/MWh)	Benefício (€/MWh)	Enviadas pelo Consumidor (Recebidas pelo Retailista)	Recebidas pelo Consumidor (Enviadas pelo Retailista)		
<i>1º Grupo de Teste</i>														
1	Low-Priority Concession	2	32,77	28,638	35,943	47,048	20,772	36,384	35,943	43,358	11	10	NEGÓCIO	96,407
			36,82	32,177	40,126		23,339	40,88	40,126					
			58,045	50,726	44,054		36,793	64,446	44,054					
			50,185	43,857	46,409		31,81	55,718	46,409					
			48,819	42,663	48,424		30,945	54,202	48,424					
70,083	61,246	73,221	44,423	77,81	73,221									
2	Low-Priority Concession	6	34,772	19,66	29,605	40,769	23,103	30,919	29,605	43,110	6	6	NEGÓCIO	83,879
			39,069	22,089	32,919		25,958	34,74	32,919					
			61,591	34,823	42,877		40,921	54,766	42,877					
			53,25	30,107	39,879		35,379	47,35	39,879					
			51,801	29,288	40,258		34,417	46,061	40,258					
74,364	42,045	59,926	49,407	66,124	59,926									
3	Low-Priority Concession	2	37,738	21,031	29,638	40,340	19,83	29,964	29,638	42,500	11	11	NEGÓCIO	82,840
			42,402	23,63	33,198		22,281	33,689	33,198					
			66,844	37,252	39,847		35,125	53,11	39,847					
			57,792	32,208	39,864		30,368	45,918	39,864					
			56,219	31,331	40,91		29,542	44,668	40,91					
80,707	44,978	61,139	42,409	64,124	61,139									
4	Low-Priority Concession	2	32,112	27,219	31,961	44,361	21,863	32,123	31,961	46,802	13	12	NEGÓCIO	91,163
			36,081	30,583	35,829		24,565	36,093	35,829					
			56,879	48,213	44,289		38,725	56,899	44,289					
			49,177	41,684	44,127		33,481	49,194	44,127					
			47,838	40,55	44,981		32,57	47,855	44,981					
68,675	58,211	66,671	46,756	68,699	66,671									
5	Low-Priority Concession	3	39,239	22,388	26,6	36,043	20,687	29,687	26,6	38,089	4	3	NEGÓCIO	74,132
			44,088	25,155	29,422		23,244	33,355	29,422					
			69,503	39,655	38,035		36,643	52,583	38,035					
			60,031	34,285	35,076		31,68	45,462	35,076					
			58,456	33,352	35,396		30,818	44,225	35,396					
83,917	47,879	52,876	44,242	63,488	52,876									
6	Low-Priority Concession	6	33,996	26,681	34,831	43,265	20,025	36,805	34,831	45,267	7	6	NEGÓCIO	88,531
			38,197	29,978	38,5		22,5	41,353	38,5					
			60,216	47,258	40,435		35,47	65,191	40,435					
			52,061	40,859	41,771		30,667	56,362	41,771					
			50,645	39,747	43,991		29,832	54,829	43,991					
72,704	57,059	67,801	42,826	78,71	67,801									
7	Low-Priority Concession	3	35,787	23,046	23,247	38,207	22,269	38,927	23,247	41,016	2	3	NEGÓCIO	79,223
			40,21	25,894	26,531		25,021	43,738	26,531					
			63,389	40,82	46,766		39,444	68,951	46,766					
			54,805	35,292	39,18		34,103	59,613	39,18					
			53,313	34,332	34,949		33,175	57,991	34,949					
76,534	49,285	50,221	47,624	83,25	50,221									
8	Low-Priority Concession	2	33,556	15,276	30,923	39,732	20,312	33,066	30,923	41,743	6	5	NEGÓCIO	81,475
			37,703	17,163	34,181		22,822	37,152	34,181					
			59,436	27,057	39,17		35,978	58,569	39,17					
			51,387	23,393	38,449		31,105	50,637	38,449					
			49,989	22,756	39,789		30,259	49,259	39,789					
71,762	32,668	60,603	43,439	70,715	60,603									
9	Low-Priority Concession	2	36,587	15,463	36,606	45,004	22,189	41,161	36,606	47,112	5	4	NEGÓCIO	92,116
			41,108	17,374	40,194		24,931	46,248	40,194					
			64,806	27,389	43,157		39,302	72,908	43,157					
			56,03	23,68	43,11		33,98	63,034	43,11					
			54,505	23,035	45,127		33,055	61,319	45,127					
78,245	33,069	69,683	47,453	88,027	69,683									
10	Low-Priority Concession	2	39,761	17,444	19,473	41,692	21,616	31,559	19,473	44,103	8	8	NEGÓCIO	85,734
			44,675	19,6	25,851		24,287	35,459	25,851					
			70,428	30,838	51,326		38,287	55,899	51,326					
			60,83	26,714	44,375		33,102	48,329	44,375					
			59,233	25,987	43,167		32,202	47,014	43,167					
85,033	37,306	43,105	46,228	67,492	43,105									

Nº	Variável Independente		Variável Dependente										Resultado Final	Benefício Conjunto
	Consumidor	Estratégia	Retailista				Consumidor				Duração da Negociação (Número de Propostas)			
			Preço (€/MWh)	Limite Min. (€/MWh)	Preço Final (€/MWh)	Benefício (€/MWh)	Preço (€/MWh)	Limite Máx. (€/MWh)	Preço Final (€/MWh)	Benefício (€/MWh)	Enviadas pelo Consumidor (Recebidas pelo Retailista)	Recebidas pelo Consumidor (Enviadas pelo Retailista)		
<i>1º Grupo de Teste</i>														
11	Low-Priority Concession	3	33,397	15,325	24,638	35,497	21,338	31,139	24,638	37,707	2	2	NEGÓCIO	73,204
			37,524	17,219	27,44		24,643	34,387	27,44					
			53,154	27,145	39,347		38,858	55,156	39,347					
			51,144	23,469	34,864		33,596	47,687	34,864					
			43,752	22,83	34,464		32,682	46,389	34,464					
71,422	32,774	50,459	46,917	66,534	50,459									
12	Low-Priority Concession	3	39,832	18,552	33,827	42,665	23,108	44,125	33,827	44,828	3	2	NEGÓCIO	87,493
			44,755	20,844	36,394		25,364	43,578	36,394					
			70,554	32,86	43,131		40,931	78,158	43,131					
			60,393	28,41	40,921		35,388	67,574	40,921					
			53,339	27,637	42,036		34,425	65,735	42,036					
85,185	39,675	64,144	43,42	34,366	64,144									
13	Low-Priority Concession	3	30	23,392	28,088	40,655	25,258	34,632	28,088	43,209	2	2	NEGÓCIO	83,864
			33,707	26,283	31,241		28,379	38,98	31,241					
			53,138	41,433	45,239		44,738	61,45	45,239					
			45,942	35,822	39,379		38,679	53,128	39,379					
			44,691	34,847	39,454		37,627	51,682	39,454					
64,157	50,026	57,648	54,016	74,193	57,648									
14	Low-Priority Concession	3	31,326	18,823	24,818	33,817	19,836	36,443	24,818	35,548	2	2	NEGÓCIO	69,165
			35,197	21,149	27,325		22,287	40,946	27,325					
			55,487	33,34	36,016		35,134	64,55	36,016					
			47,973	28,825	32,665		30,376	55,808	32,665					
			46,667	28,04	32,766		29,55	54,289	32,766					
66,394	40,254	48,813	42,42	77,936	48,813									
15	Low-Priority Concession	2	33,634	18,263	30,24	45,136	28,581	31,833	30,24	48,075	3	3	NEGÓCIO	33,211
			37,791	20,52	33,82		32,114	35,766	33,82					
			59,575	32,349	50,966		50,625	56,384	50,966					
			51,507	27,368	44,626		43,77	48,748	44,626					
			50,106	27,207	43,756		42,578	47,422	43,756					
71,93	39,058	63,402	61,124	68,077	63,402									
16	Low-Priority Concession	6	33,352	27,032	34,392	47,751	28,12	37,667	34,392	50,563	4	3	NEGÓCIO	38,314
			37,473	30,373	38,149		31,595	42,322	38,149					
			59,075	47,881	51,284		49,808	66,718	51,284					
			51,075	41,397	46,666		43,063	57,683	46,666					
			43,685	40,271	46,747		41,891	56,113	46,747					
71,325	57,811	69,297	60,137	80,554	69,297									
17	Low-Priority Concession	3	33,085	17,89	29,47	39,728	23,348	43,756	29,47	41,934	2	2	NEGÓCIO	81,721
			37,174	20,101	32,424		26,233	49,163	32,424					
			58,603	31,688	42,439		41,355	77,503	42,439					
			50,667	27,397	38,568		35,755	67,007	38,568					
			43,288	26,651	38,734		34,782	65,184	38,734					
70,756	38,259	57,788	49,302	93,576	57,788									
18	Low-Priority Concession	3	35,967	19,436	22,307	41,130	27,761	35,576	22,307	44,384	2	2	NEGÓCIO	85,514
			40,411	21,838	27,161		31,191	39,972	27,161					
			63,707	34,427	53,398		49,172	63,015	53,398					
			55,079	29,765	44,293		42,513	54,481	44,293					
			53,58	28,955	35,023		41,356	52,998	35,023					
76,318	41,566	50,509	59,369	76,083	50,509									
19	Low-Priority Concession	3	33,592	22,168	27,618	39,312	24,619	30,499	27,618	42,408	3	2	NEGÓCIO	82,920
			37,743	24,908	30,748		27,662	34,268	30,748					
			59,5	39,266	44,222		43,607	54,022	44,222					
			51,442	33,349	39,249		37,702	46,706	39,249					
			50,042	33,025	38,806		36,676	45,435	38,806					
71,839	47,409	56,77	52,651	65,225	56,77									
20	Low-Priority Concession	3	30,229	27,338	27,338	42,128	21,422	33,622	27,338	44,975	7	8	NEGÓCIO	87,103
			33,364	30,716	30,716		24,07	37,777	30,716					
			53,543	48,422	48,422		37,945	59,553	48,422					
			46,292	41,865	41,865		32,806	51,488	41,865					
			45,032	40,726	40,726		31,914	50,087	40,726					
64,647	58,464	58,464	45,814	71,903	58,464									

Nº	Variável Independente		Variável Dependente											
	Consumidor		Retailista				Consumidor				Duração da Negociação (Número de Propostas)		Resultado Final	Benefício Conjunto
	Estratégia	Estratégia	Preço (€/MWh)	Limite Min. (€/MWh)	Preço Final (€/MWh)	Benefício (€/MWh)	Preço (€/MWh)	Limite Máx. (€/MWh)	Preço Final (€/MWh)	Benefício (€/MWh)	Enviadas pelo Consumidor (Recebidas pelo Retailista)	Recebidas pelo Consumidor (Enviadas pelo Retailista)		
<i>1º Grupo de Teste</i>														
21	Low-Priority Concession	2	29,791	26,132	32,935	47,305	29,221	41,602	32,935	50,247	2	2	NEGÓCIO	37,552
			33,472	29,361	36,588		32,832	46,743	36,588					
			52,767	46,287	52,417		51,759	73,688	52,417					
			45,622	40,018	46,455		44,749	63,709	46,455					
			44,38	38,929	45,93		43,532	61,975	45,93					
63,71	55,886	67,258	62,432	88,969	67,258									
22	Low-Priority Concession	3	38,771	23,255	30,619	42,466	25,274	35,755	30,619	44,976	3	2	NEGÓCIO	87,442
			43,562	26,129	33,898		28,397	40,174	33,898					
			68,674	41,191	45,863		44,766	63,332	45,863					
			59,374	35,613	41,464		38,704	54,755	41,464					
			57,758	34,643	41,447		37,651	53,265	41,447					
82,915	49,733	61,394	54,05	76,466	61,394									
23	Low-Priority Concession	7	32,712	14,635	34,701	41,231	20,069	42,34	34,701	43,052	4	4	NEGÓCIO	84,283
			36,754	16,443	37,837		22,549	47,572	37,837					
			57,941	25,922	38,992		35,548	74,995	38,992					
			50,095	22,412	39,138		30,734	64,839	39,138					
			48,731	21,802	41,228		29,898	63,075	41,228					
69,957	31,298	64,288	42,92	90,548	64,288									
24	Low-Priority Concession	2	32,43	13,738	29,754	44,660	28,403	31,052	29,754	47,586	3	2	NEGÓCIO	32,246
			36,438	15,436	33,304		31,913	34,89	33,304					
			57,442	24,334	50,588		50,31	55,002	50,588					
			49,663	21,038	44,194		43,497	47,553	44,194					
			48,312	20,466	43,272		42,313	46,259	43,272					
69,355	29,38	62,599	60,743	66,408	62,599									
25	Low-Priority Concession	6	39,446	13,52	36,553	46,231	24,486	42,853	36,553	48,559	4	4	NEGÓCIO	34,790
			44,321	15,19	40,121		27,512	48,149	40,121					
			69,87	23,947	46,212		43,371	75,904	46,212					
			60,408	20,704	44,429		37,498	65,625	44,429					
			58,764	20,14	45,821		36,477	63,839	45,821					
84,359	28,913	69,987	52,365	91,645	69,987									
26	Low-Priority Concession	6	30,621	27,36	31,061	43,739	26,617	41,43	31,061	46,390	2	2	NEGÓCIO	30,129
			34,405	30,741	34,401		29,907	46,55	34,401					
			54,238	48,462	47,933		47,146	73,383	47,933					
			46,893	41,899	42,804		40,762	63,446	42,804					
			45,617	40,759	42,521		39,652	61,719	42,521					
65,486	58,512	62,625	56,923	88,602	62,625									
27	Low-Priority Concession	7	37,234	20,31	29,292	50,510	22,465	40,499	29,292	53,257	9	10	NEGÓCIO	103,767
			41,835	23,494	30,127		25,241	45,504	30,127					
			65,951	37,037	65,951		39,791	71,735	65,951					
			57,019	32,021	52,087		34,402	62,02	52,087					
			55,468	31,15	52,457		33,466	60,332	52,457					
79,627	44,718	44,987	48,042	86,611	44,987									
28	Low-Priority Concession	6	31,197	20,152	31,177	41,084	22,38	33,956	31,177	43,291	5	4	NEGÓCIO	84,375
			35,052	22,643	34,458		25,145	38,152	34,458					
			55,258	35,695	41,993		39,641	60,145	41,993					
			47,775	30,861	39,843		34,272	52	39,843					
			46,475	30,021	40,705		33,34	50,585	40,705					
66,718	43,098	61,424	47,861	72,618	61,424									
29	Low-Priority Concession	6	38,692	27,762	39,273	45,966	19,775	43,212	39,273	47,834	6	5	NEGÓCIO	33,800
			43,473	31,193	43,093		22,219	48,552	43,093					
			68,533	49,175	40,892		35,027	76,541	40,892					
			59,252	42,515	43,777		30,284	66,175	43,777					
			57,64	41,358	46,972		29,459	64,374	46,972					
82,746	59,373	73,831	42,291	92,414	73,831									
30	Low-Priority Concession	2	33,201	19,197	33,002	46,990	28,622	37,21	33,002	49,871	3	2	NEGÓCIO	36,862
			37,303	21,502	36,666		32,159	41,808	36,666					
			58,807	33,897	51,597		50,698	65,909	51,597					
			50,843	29,307	46,093		43,832	56,983	46,093					
			49,46	28,509	45,749		42,639	55,432	45,749					
71,003	40,927	67,229	61,212	79,577	67,229									

Nº	Variável Independente		Variável Dependente										Resultado Final	Benefício Conjunto
	Consumidor		Retalhista					Consumidor			Duração da Negociação (Número de Propostas)			
	Estratégia		Estratégia	Preço (€/MWh)	Limite Min. (€/MWh)	Preço Final (€/MWh)	Benefício (€/MWh)	Preço (€/MWh)	Limite Máx. (€/MWh)	Preço Final (€/MWh)	Benefício (€/MWh)	Enviadas pelo Consumidor (Recebidas pelo Retalhista)		
<i>1º Grupo de Teste</i>														
31	Low-Priority Concession	2	31,616	19,359	25,537	44,384	27,745	31,411	25,537	47,176	3	3	NEGÓCIO	31,560
			35,523	21,752	31,011		31,174	35,293	31,011					
			56	34,291	52,268		49,144	55,638	52,268					
			48,416	29,647	45,19		42,489	48,103	45,19					
			47,099	28,84	43,361		41,333	46,794	43,361					
67,613	41,402	55,755	59,336	67,176	55,755									
32	Low-Priority Concession	6	34,452	26,344	34,063	42,956	23,263	44,438	34,063	45,133	3	3	NEGÓCIO	88,089
			38,71	30,274	37,251		26,138	49,929	37,251					
			61,024	47,726	43,421		41,205	78,711	43,421					
			52,76	41,263	41,199		35,625	68,052	41,199					
			51,324	40,14	42,324		34,655	66,2	42,324					
73,679	57,623	64,585	49,75	95,035	64,585									
33	Low-Priority Concession	3	37,668	23,795	32,672	39,570	19,792	33,395	32,672	41,394	4	3	NEGÓCIO	80,364
			42,323	26,735	35,695		22,238	44,263	35,695					
			66,719	42,147	38,089		35,057	69,779	38,089					
			57,684	36,44	37,707		30,309	60,33	37,707					
			56,114	35,448	39,458		29,485	58,688	39,458					
80,556	50,888	61,135	42,327	84,25	61,135									
34	Low-Priority Concession	6	37,775	14,152	34,341	48,729	26,234	34,505	34,341	51,566	12	11	NEGÓCIO	100,295
			42,444	15,301	38,478		29,476	38,769	38,478					
			66,91	25,067	50,637		46,467	61,117	50,637					
			57,849	21,672	48,352		40,175	52,84	48,352					
			56,275	21,083	48,739		39,081	51,402	48,739					
80,786	30,266	71,799	56,104	73,792	71,799									
35	Low-Priority Concession	2	35,955	14,331	33,686	48,127	29,4	37,804	33,686	51,091	3	2	NEGÓCIO	99,219
			40,399	16,102	37,444		33,033	42,476	37,444					
			63,687	25,384	52,956		52,076	66,961	52,956					
			55,062	21,346	47,235		45,023	57,893	47,235					
			53,564	21,349	46,842		43,798	56,318	46,842					
76,894	30,648	68,763	62,875	80,848	68,763									
36	Low-Priority Concession	7	32,321	25,331	25,331	44,954	26,601	41,072	25,331	48,349	2	3	NEGÓCIO	93,303
			36,315	29,136	29,136		29,888	46,148	29,136					
			57,249	45,331	57,249		47,118	72,75	57,249					
			49,497	39,711	46,143		40,737	62,898	46,143					
			48,15	38,63	41,683		39,628	61,186	41,683					
69,122	55,457	55,457	56,889	87,837	55,457									
37	Low-Priority Concession	6	38,899	26,656	35,389	46,089	21,812	36,219	35,389	48,392	9	8	NEGÓCIO	94,481
			43,706	29,35	39,39		24,508	40,635	39,39					
			68,901	47,215	44,155		38,635	64,154	44,155					
			59,57	40,821	45,091		33,403	55,466	45,091					
			57,949	39,71	46,312		32,494	53,956	46,312					
83,189	57,006	71,16	46,647	77,458	71,16									
38	Low-Priority Concession	6	31,59	13,851	31,917	42,481	23,905	36,099	31,917	44,822	4	3	NEGÓCIO	87,303
			35,494	15,563	35,231		26,859	40,561	35,231					
			55,954	24,534	44,229		42,342	63,942	44,229					
			48,377	21,212	41,21		36,608	55,283	41,21					
			47,06	20,634	41,816		35,612	53,778	41,816					
67,558	29,622	62,822	51,123	77,202	62,822									
39	Low-Priority Concession	3	36,523	16,29	19,804	38,785	28,745	32,073	19,804	41,987	2	2	NEGÓCIO	80,771
			41,037	18,303	24,819		32,298	36,036	24,819					
			64,692	28,853	52,073		50,916	56,809	52,073					
			55,931	24,346	42,728		44,021	49,116	42,728					
			54,409	24,267	31,694		42,823	47,779	31,694					
78,108	34,837	45,784	61,475	68,59	45,784									
40	Low-Priority Concession	7	34,974	20,637	36,563	47,132	19,805	37,05	36,563	49,356	11	10	NEGÓCIO	36,488
			39,296	23,187	40,797		22,253	41,629	40,797					
			61,948	36,553	43,1		35,081	65,626	43,1					
			53,559	31,603	46,455		30,33	56,739	46,455					
			52,101	30,743	48,814		29,505	55,195	48,814					
74,795	44,134	74,167	42,356	79,236	74,167									

Tabela C.2: Resultados dos 40 ensaios do grupo₂.

Nº	Variável Independente		Variável Dependente										Resultado Final	Benefício Conjunto						
	Consumidor		Retailista				Consumidor				Duração da Negociação (Número de Propostas)									
	Estratégia		Preço (€/MWh)	Limite Min. (€/MWh)	Preço Final (€/MWh)	Benefício (€/MWh)	Preço (€/MWh)	Limite Máx. (€/MWh)	Preço Final (€/MWh)	Benefício (€/MWh)	Enviadas pelo Consumidor (Recebidas pelo Retailista)	Recebidas pelo Consumidor (Enviadas pelo Retailista)								
<i>2º Grupo de Teste</i>																				
1	E-R Concession	7	29,859	28,543	28,543	43,986	24,537	30,321	28,543	46,958	2	3	NEGÓCIO	30,344						
			33,549	32,07	32,07			27,57	34,068						32,07					
			52,889	50,558	50,558			43,462	53,707						50,558					
			45,727	43,711	43,711			37,576	46,434						43,711					
			44,482	42,521	42,521			36,554	45,171						42,521					
			63,857	61,042	61,042		52,475	64,845	61,042											
2	E-R Concession	2	34,876	17,745	30,376	47,261	21,865	30,385	30,376	50,399	4	3	NEGÓCIO	37,661						
			39,186	19,937	34,766			24,567	34,815						34,766					
			61,775	31,43	53,633			38,728	54,884						53,633					
			53,409	27,174	46,762			33,484	47,451						46,762					
			51,956	26,435	46,12			32,572	46,16						46,12					
			74,586	37,949	66,203		46,76	66,265	66,203											
3	E-R Concession	6	34,427	25,75	25,75	44,396	25,489	29,819	25,75	47,662	2	3	NEGÓCIO	32,058						
			38,681	28,932	28,932			28,639	33,504						28,932					
			60,979	45,611	55,479			45,149	52,817						55,479					
			52,721	39,434	45,905			39,035	45,664						45,905					
			51,287	38,361	41,665			37,972	44,422						41,665					
			73,625	55,069	55,069		54,512	63,77	55,069											
4	E-R Concession	2	35,481	29,46	32,435	52,547	27,574	35,173	32,435	55,996	2	3	NEGÓCIO	108,543						
			39,866	33,101	37,65			30,982	39,52						37,65					
			62,847	52,182	61,014			48,842	62,301						61,014					
			54,336	45,116	52,751			42,227	53,864						52,751					
			52,857	43,888	51,315			41,078	52,398						51,315					
			75,88	63,004	70,055		58,97	75,221	70,055											
5	E-R Concession	3	35,132	26,025	27,607	46,264	20,532	41,599	27,607	49,651	2	2	NEGÓCIO	35,315						
			39,473	29,241	32,174			23,069	46,739						32,174					
			62,228	46,098	56,549			36,367	73,682						56,549					
			53,801	39,855	47,859			31,442	63,704						47,859					
			52,336	38,77	42,113			30,587	61,971						42,113					
			75,132	55,657	60,584		43,909	88,963	60,584											
6	E-R Concession	2	30,418	21,174	36,612	47,927	19,435	40,223	36,612	50,568	2	2	NEGÓCIO	38,495						
			34,177	23,791	38,499			21,836	45,193						38,499					
			53,878	37,506	47,388			34,424	71,245						47,388					
			46,582	32,427	43,327			29,762	61,597						43,327					
			45,314	31,544	52,29			28,352	59,921						52,29					
			65,052	45,284	74,773		41,563	86,02	74,773											
7	E-R Concession	2	34,358	25,82	33,819	49,745	21,344	34,019	33,819	52,881	3	3	NEGÓCIO	102,626						
			38,604	29,011	37,589			23,982	38,223						37,589					
			60,858	45,734	54,342			37,806	60,257						54,342					
			52,617	39,541	48,229			32,686	52,097						48,229					
			51,185	38,465	50,065			31,797	50,679						50,065					
			73,479	55,218	71,822		45,646	72,753	71,822											
8	E-R Concession	6	30,322	13,899	36,966	52,950	28,843	38,674	36,966	56,245	2	2	NEGÓCIO	103,195						
			34,069	15,617	40,287			32,407	43,453						40,287					
			53,709	24,619	57,22			51,089	68,502						57,22					
			46,435	21,285	50,585			44,17	53,225						50,585					
			45,172	20,706	54,004			42,968	57,613						54,004					
			64,847	29,725	77,389		61,683	82,708	77,389											
9	E-R Concession	2	37,519	16,065	26,88	50,227	21,226	37,661	26,88	53,258	2	3	NEGÓCIO	103,484						
			42,155	18,05	34,258			23,849	42,315						34,258					
			66,456	28,455	59,924			37,537	66,708						59,924					
			57,457	24,601	51,809			32,505	57,674						51,809					
			55,893	23,932	50,399			31,621	56,105						50,399					
			80,238	34,356	59,481		45,393	80,542	59,481											
10	E-R Concession	3	36,941	21,517	24,196	43,588	26,998	32,66	24,196	46,976	2	2	NEGÓCIO	30,564						
			41,506	24,176	29,143			30,335	36,696						29,143					
			65,432	38,112	55,813			47,821	57,849						55,813					
			56,571	32,351	46,506			41,345	50,015						46,506					
			55,032	32,054	37,716			40,22	48,654						37,716					
			79,002	46,016	54,361		57,739	63,846	54,361											

Nº	Variável Independente		Variável Dependente												
	Consumidor		Retailista					Consumidor				Duração da Negociação (Número de Propostas)		Resultado Final	Benefício Conjunto
	Estratégia		Estratégia	Preço (€/MWh)	Limite Min. (€/MWh)	Preço Final (€/MWh)	Benefício (€/MWh)	Preço (€/MWh)	Limite Máx. (€/MWh)	Preço Final (€/MWh)	Benefício (€/MWh)	Enviadas pelo Consumidor (Recebidas pelo Retailista)	Recebidas pelo Consumidor (Enviadas pelo Retailista)		
<i>2º Grupo de Teste</i>															
11	E-R Concession	3	35,226	27,84	29,123	47,898	26,027	35,953	29,123	51,346	2	2	NEGÓCIO	39,243	
			39,58	31,281	33,66		29,244	40,396	33,66						
			62,395	49,313	57,789		46,101	63,682	57,789						
			53,946	42,635	49,126		39,858	55,058	49,126						
			52,478	41,475	44,186		38,773	53,56	44,186						
75,335	59,539	63,535	55,662	76,888	63,535										
12	E-R Concession	7	32,696	25,93	36,663	52,833	29,249	38,221	36,663	56,144	2	2	NEGÓCIO	108,977	
			36,736	29,135	40,055		32,863	42,944	40,055						
			57,913	45,329	57,403		51,808	67,639	57,403						
			50,07	39,709	50,646		44,792	58,531	50,646						
			48,707	38,629	53,645		43,573	56,938	53,645						
69,322	55,454	76,884	62,551	81,738	76,884										
13	E-R Concession	3	30,642	28,602	28,634	44,508	21,02	31,124	28,634	47,552	2	3	NEGÓCIO	32,060	
			34,428	32,137	32,239		23,618	34,97	32,239						
			54,274	50,662	51,614		37,233	55,129	51,614						
			46,325	43,802	44,424		32,19	47,663	44,424						
			45,648	42,61	42,709		31,314	46,366	42,709						
65,53	61,169	61,319	44,954	66,562	61,319										
14	E-R Concession	6	38,331	14,428	33,036	45,471	22,036	35,348	33,036	48,161	2	2	NEGÓCIO	33,632	
			43,068	16,211	35,43		24,76	39,717	35,43						
			67,895	25,555	47,334		39,032	62,611	47,334						
			58,7	22,095	42,433		33,746	54,132	42,433						
			57,103	21,493	47,773		32,828	52,659	47,773						
81,975	30,855	68,394	47,127	75,596	68,394										
15	E-R Concession	2	32,183	27,022	30,686	48,604	23,407	35,148	30,686	51,832	2	2	NEGÓCIO	100,436	
			36,16	30,362	35,116		26,239	39,431	35,116						
			57,004	47,864	56,181		41,46	62,256	56,181						
			43,284	41,382	48,573		35,845	53,825	48,573						
			47,943	40,256	47,251		34,87	52,36	47,251						
68,826	57,79	65,957	50,058	75,167	65,957										
16	E-R Concession	2	33,245	21,245	24,028	41,539	23,947	36,312	24,028	44,633	3	2	NEGÓCIO	86,173	
			37,354	23,87	28,444		26,907	40,739	28,444						
			58,886	37,631	52,175		42,417	64,318	52,175						
			50,912	32,535	43,844		36,673	55,608	43,844						
			43,526	31,649	36,645		35,675	54,095	36,645						
71,098	45,434	52,345	51,213	77,656	52,345										
17	E-R Concession	3	32,108	21,728	30,201	46,401	29,468	30,213	30,201	49,523	2	2	NEGÓCIO	35,324	
			36,075	24,413	33,309		33,109	33,946	33,309						
			56,871	38,486	53,167		52,195	53,515	53,167						
			49,169	33,275	46,041		45,127	46,268	46,041						
			47,831	32,369	44,972		43,839	45,008	44,972						
68,665	46,468	64,558	63,02	64,613	64,558										
18	E-R Concession	3	34,228	25,667	27,154	45,343	27,3	43,456	27,154	48,652	2	2	NEGÓCIO	33,395	
			38,458	28,838	31,595		30,674	48,826	31,595						
			60,628	45,462	55,288		48,355	76,972	55,288						
			52,418	39,306	46,831		41,807	66,548	46,831						
			50,391	38,236	41,379		40,669	64,737	41,379						
73,201	54,891	59,523	58,383	92,934	59,523										
19	E-R Concession	3	31,779	15,055	39,706	53,668	24,495	42,903	39,706	56,764	2	2	NEGÓCIO	110,432	
			35,707	16,915	42,277		27,523	48,205	42,277						
			56,29	26,666	54,868		43,388	75,993	54,868						
			48,667	23,055	49,524		37,512	65,702	49,524						
			47,343	22,427	57,156		36,492	63,913	57,156						
67,963	32,196	81,793	52,386	91,752	81,793										
20	E-R Concession	3	38,023	25,526	27,697	47,786	24,905	41,883	27,697	51,374	2	2	NEGÓCIO	39,160	
			42,721	28,68	32,704		27,983	47,059	32,704						
			67,348	45,213	59,554		44,114	74,187	59,554						
			58,228	39,09	50,073		38,14	64,14	50,073						
			56,643	38,026	42,613		37,102	62,395	42,613						
81,315	54,583	61,35	53,262	89,571	61,35										

Nº	Variável Independente		Variável Dependente										Resultado Final	Benefício Conjunto
	Consumidor	Retailista					Consumidor				Duração da Negociação (Número de Propostas)			
		Estratégia	Preço (€/MWh)	Limite Min. (€/MWh)	Preço Final (€/MWh)	Benefício (€/MWh)	Preço (€/MWh)	Limite Máx. (€/MWh)	Preço Final (€/MWh)	Benefício (€/MWh)	Enviadas pelo Consumidor (Recebidas pelo Retailista)	Recebidas pelo Consumidor (Enviadas pelo Retailista)		
<i>2º Grupo de Teste</i>														
21	E-R Concession	6	39,225	13,441	32,458	53,037	28,513	35,706	32,458	56,842	2	2	NEGÓCIO	103,879
			44,072	15,102	37,351		32,037	40,118	37,351					
			63,478	23,808	63,81		50,504	63,244	63,81					
			60,069	20,583	54,238		43,665	54,68	54,238					
			58,434	20,023	49,099		42,476	53,192	49,099					
83,886	28,745	70,585	60,378	76,36	70,585									
22	E-R Concession	6	38,16	14,762	34,172	46,294	21,295	36,879	34,172	48,973	2	2	NEGÓCIO	95,267
			42,876	16,586	36,418		23,926	41,437	36,418					
			67,591	26,148	47,438		37,719	65,323	47,438					
			58,438	22,607	42,78		32,611	56,477	42,78					
			56,848	21,991	49,219		31,723	54,94	49,219					
81,609	31,57	70,438	45,541	78,87	70,438									
23	E-R Concession	2	37,989	24,126	33,969	55,881	22,783	38,853	33,969	59,507	2	2	NEGÓCIO	115,388
			42,683	27,108	39,88		25,599	43,655	39,88					
			67,288	42,734	65,078		40,355	68,82	65,078					
			58,176	36,947	56,265		34,89	59,5	56,265					
			56,593	35,941	54,734		33,94	57,881	54,734					
81,242	51,596	73,534	48,724	83,092	73,534									
24	E-R Concession	3	34,615	17,123	40,303	53,551	22,995	43,941	40,303	56,567	2	2	NEGÓCIO	110,118
			38,893	19,239	42,626		25,836	49,372	42,626					
			61,312	30,329	53,793		40,73	77,832	53,793					
			53,009	26,222	48,883		35,214	67,292	48,883					
			51,567	25,508	57,772		34,256	65,461	57,772					
74,027	36,619	82,64	49,176	93,973	82,64									
25	E-R Concession	3	31,602	21,719	23,436	40,153	23,963	41,949	23,436	43,150	2	2	NEGÓCIO	83,303
			35,507	24,403	27,585		26,925	47,192	27,585					
			55,976	38,471	49,813		42,446	74,302	49,813					
			48,395	33,261	41,946		36,698	64,24	41,946					
			47,078	32,356	35,984		35,699	62,492	35,984					
67,584	46,449	51,796	51,248	89,711	51,796									
26	E-R Concession	7	33,34	21,995	30,526	42,831	22,01	32,316	30,526	45,428	2	2	NEGÓCIO	88,259
			37,46	24,713	32,991		24,73	36,31	32,991					
			59,054	38,958	45,412		38,985	57,24	45,412					
			51,057	33,683	40,431		33,706	49,489	40,431					
			49,668	32,766	44,359		32,788	48,142	44,359					
71,301	47,038	63,535	47,07	69,111	63,535									
27	E-R Concession	7	34,257	15,4	36,356	52,322	27,534	38,924	36,356	55,531	2	2	NEGÓCIO	107,853
			38,43	17,304	40,086		31,005	43,734	40,086					
			60,678	27,278	55,942		48,877	68,944	55,942					
			52,461	23,584	49,651		42,258	59,608	49,651					
			51,033	22,942	53,827		41,108	57,986	53,827					
73,261	32,935	77,112	59,013	83,242	77,112									
28	E-R Concession	6	34,187	15,967	24,105	41,243	20,378	30,693	24,105	44,342	2	2	NEGÓCIO	85,584
			38,412	17,94	28,221		22,897	34,486	28,221					
			60,554	28,281	51,396		36,096	54,365	51,396					
			52,354	24,452	43,067		31,208	47,003	43,067					
			50,929	23,786	36,866		30,358	45,724	36,866					
73,112	34,146	53,053	43,581	65,64	53,053									
29	E-R Concession	3	33,591	26,808	27,986	45,899	21,211	34,225	27,986	49,195	2	2	NEGÓCIO	95,095
			37,743	30,121	32,305		23,832	38,454	32,305					
			59,499	47,484	55,269		37,57	60,622	55,269					
			51,442	41,054	47,016		32,482	52,412	47,016					
			50,042	39,937	42,427		31,598	50,986	42,427					
71,838	57,332	61,002	45,361	73,193	61,002									
30	E-R Concession	2	36,993	22,792	31,561	48,587	27,056	31,561	31,561	51,863	5	4	NEGÓCIO	100,450
			41,564	25,609	35,46		30,4	35,462	35,46					
			65,524	40,371	55,762		47,924	55,904	55,762					
			56,651	34,904	48,268		41,434	48,333	48,268					
			55,109	33,954	47,017		40,307	47,018	47,017					
79,113	48,744	67,495	57,863	67,497	67,495									

Nº	Variável Independente		Variável Dependente										Resultado Final	Benefício Conjunto						
	Consumidor	Retailista					Consumidor				Duração da Negociação (Número de Propostas)									
		Estratégia	Preço (€/MWh)	Limite Min. (€/MWh)	Preço Final (€/MWh)	Benefício (€/MWh)	Preço (€/MWh)	Limite Máx. (€/MWh)	Preço Final (€/MWh)	Benefício (€/MWh)	Enviadas pelo Consumidor (Recebidas pelo Retailista)	Recebidas pelo Consumidor (Enviadas pelo Retailista)								
<i>2º Grupo de Teste</i>																				
31	E-R Concession	6	32,046	22,597	22,667	38,748	26,388	39,601	22,667	41,657	2	2	NEGÓCIO	80,405						
			36,006	25,389	26,529			29,649	44,495						26,529					
			56,762	40,025	48,255			46,74	70,144						48,255					
			49,075	34,605	40,446			40,411	60,645						40,446					
			47,14	33,863	34,661			39,311	58,395						34,661					
			68,534	48,325	49,877			56,433	84,691						49,877					
32	E-R Concession	6	38,457	27,201	29,887	49,744	27,489	37,028	29,887	53,380	2	2	NEGÓCIO	103,124						
			43,21	30,562	34,636			30,886	41,604						34,636					
			68,118	48,18	60,702			48,691	65,587						60,702					
			58,893	41,655	51,306			42,097	56,705						51,306					
			57,291	40,522	45,415			40,951	55,162						45,415					
			82,244	58,171	65,313			58,788	79,189						65,313					
33	E-R Concession	2	36,401	24,173	30,337	51,768	24,636	33,885	30,337	55,059	3	3	NEGÓCIO	106,827						
			40,899	27,16	36,398			27,68	38,072						36,398					
			64,476	42,816	60,753			43,636	60,019						60,753					
			55,744	37,018	52,525			37,727	51,891						52,525					
			54,227	36,011	51,096			36,7	50,479						51,096					
			77,847	51,695	66,015			52,686	72,466						66,015					
34	E-R Concession	6	36,917	15,332	31,122	43,259	21,613	33,121	31,122	45,851	2	2	NEGÓCIO	89,111						
			41,479	17,227	33,508			24,284	37,214						33,508					
			65,39	27,158	45,46			38,283	58,667						45,46					
			56,535	23,48	40,608			33,099	50,722						40,608					
			54,996	22,841	45,118			32,198	49,342						45,118					
			78,951	32,79	64,607			46,222	70,833						64,607					
35	E-R Concession	2	31,061	27,778	29,433	46,704	20,159	31,263	29,433	49,804	3	3	NEGÓCIO	96,509						
			34,9	31,211	33,692			22,65	35,126						33,692					
			55,017	49,202	54,018			35,707	55,374						54,018					
			47,567	42,539	46,702			30,871	47,875						46,702					
			46,272	41,381	45,431			30,091	46,573						45,431					
			66,427	59,406	63,251			43,111	66,858						63,251					
36	E-R Concession	2	32,737	27,28	31,154	49,402	25,568	41,655	31,154	52,681	2	2	NEGÓCIO	102,083						
			36,783	30,651	35,679			28,728	46,802						35,679					
			57,987	48,32	57,117			45,288	73,782						57,117					
			50,134	41,776	49,382			39,155	63,79						49,382					
			48,77	40,639	48,098			38,09	62,054						48,098					
			70,012	58,341	66,378			54,68	89,082						66,378					
37	E-R Concession	2	39,176	23,605	31,454	54,862	24,71	38,999	31,454	58,306	2	3	NEGÓCIO	113,168						
			44,018	26,522	38,287			27,764	43,818						38,287					
			69,392	41,811	64,651			43,768	69,077						64,651					
			59,995	36,149	55,896			37,841	59,723						55,896					
			58,362	35,165	54,374			36,811	58,097						54,374					
			83,782	50,482	68,717			52,845	83,402						68,717					
38	E-R Concession	6	38,552	19,174	30,935	47,602	24,689	30,935	30,935	50,809	5	4	NEGÓCIO	98,411						
			43,316	21,543	34,755			27,741	34,758						34,755					
			68,286	33,962	54,598			43,732	54,795						54,598					
			59,039	29,363	47,284			37,809	47,375						47,284					
			57,432	28,564	46,083			36,781	46,085						46,083					
			82,447	41,005	66,155			52,801	66,158						66,155					
39	E-R Concession	7	39,53	15,55	40,037	54,294	25,062	43,185	40,037	57,442	2	2	NEGÓCIO	111,736						
			44,415	17,472	42,685			28,159	48,521						42,685					
			70,017	27,543	55,694			44,391	76,492						55,694					
			60,536	23,813	50,205			38,379	66,133						50,205					
			58,888	23,165	57,681			37,335	64,333						57,681					
			84,538	33,255	82,55			53,597	92,355						82,55					
40	E-R Concession	7	37,936	28,063	28,557	47,075	22,047	31,586	28,557	50,437	3	4	NEGÓCIO	97,512						
			42,624	31,531	31,531			24,771	35,489						31,531					
			67,195	49,708	58,065			39,051	55,947						58,065					
			58,095	42,376	46,591			33,163	48,371						46,591					
			56,514	41,807	45,704			32,844	47,054						45,704					
			81,13	60,016	60,016			47,15	67,549						60,016					

Tabela C.3: Resultados dos 40 ensaios do grupo₃.

Nº	Variável Independente		Variável Dependente										Resultado Final	Benefício Conjunto
	Consumidor		Retailista				Consumidor				Duração da Negociação (Número de Propostas)			
	Estratégia	Estratégia	Preço (€/MWh)	Limite Min. (€/MWh)	Preço Final (€/MWh)	Benefício (€/MWh)	Preço (€/MWh)	Limite Máx. (€/MWh)	Preço Final (€/MWh)	Benefício (€/MWh)	Enviadas pelo Consumidor (Recebidas pelo Retailista)	Recebidas pelo Consumidor (Enviadas pelo Retailista)		
<i>3º Grupo de Teste</i>														
1	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	2	31,333	23,164	28,964	46,717	27,002	44,312	28,964	49,786	2	2	NEGÓCIO	96,503
35,205			26,027	33,553	30,339		49,788	33,553						
55,439			41,03	54,197	47,827		78,488	54,197						
47,983			35,474	46,857	41,351		67,859	46,857						
46,677			34,508	45,582	40,225		66,012	45,582						
67,008			49,539	62,466	57,746		94,765	62,466						
2	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	6	30,415	18,023	25,211	42,140	24,502	39,202	25,211	45,002	2	2	NEGÓCIO	87,142
34,174			20,251	27,412	27,53		44,046	27,412						
53,873			31,924	53,299	43,4		69,437	53,299						
46,578			27,601	43,243	37,522		60,034	43,243						
45,31			26,85	40,331	36,501		58,4	40,331						
65,046			38,545	48,703	52,4		83,837	48,703						
3	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	2	39,504	16,462	20,619	44,484	21,074	39,603	20,619	47,012	5	6	NEGÓCIO	91,496
44,386			18,497	28,096	23,679		44,498	28,096						
69,973			29,159	54,628	37,328		70,148	54,628						
60,497			25,211	47,23	32,273		60,649	47,23						
58,85			24,525	45,945	31,395		58,998	45,945						
84,484			35,207	46,141	45,069		84,696	46,141						
4	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	7	34,523	17,978	30,864	48,684	29,448	33,842	30,864	51,238	2	2	NEGÓCIO	99,922
38,789			20,199	33,583	33,088		38,024	33,583						
61,15			31,844	55,339	52,161		59,943	55,339						
52,869			27,531	49,423	45,097		51,826	49,423						
51,43			26,782	51,43	43,87		50,415	51,43						
73,831			38,447	57,374	62,978		72,374	57,374						
5	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	3	39,089	13,842	18,227	38,403	19,544	43,994	18,227	41,724	2	2	NEGÓCIO	80,127
43,919			15,553	23,683	21,96		49,431	23,683						
69,237			24,519	53,492	34,619		77,926	53,492						
59,861			21,198	43,387	29,33		67,373	43,387						
58,232			20,621	29,888	29,116		65,54	29,888						
83,595			29,603	43,262	41,798		94,086	43,262						
6	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	2	35,668	25,976	26,858	46,462	22,019	41,888	26,858	49,425	8	8	NEGÓCIO	95,886
40,075			29,186	31,9	24,741		47,065	31,9						
63,177			46,011	54,883	39,002		74,195	54,883						
54,621			39,78	47,449	33,721		64,148	47,449						
53,135			38,697	46,158	32,803		62,402	46,158						
76,278			55,553	58,071	47,091		89,582	58,071						
7	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	6	37,011	18,868	31,2	40,498	20,28	31,2	31,2	43,326	3	3	NEGÓCIO	83,824
41,585			21,2	35,055	22,786		35,055	35,055						
65,556			33,421	44,562	35,921		55,263	44,562						
56,678			28,895	39,272	31,056		47,779	39,272						
55,196			28,108	34,626	30,211		46,479	34,626						
79,151			40,351	65,133	43,37		66,724	65,133						
8	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	2	38,247	21,343	22,435	42,958	20,211	44,306	22,435	45,581	8	9	NEGÓCIO	88,539
42,973			23,98	27,863	22,709		49,781	27,863						
67,145			37,803	51,883	35,799		78,477	51,883						
58,571			32,684	44,857	30,951		67,85	44,857						
56,977			31,795	43,638	30,109		66,003	43,638						
81,794			45,643	48,894	43,223		94,752	48,894						
9	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	7	37,188	16,814	32,341	45,464	25,286	39,105	32,341	48,329	2	2	NEGÓCIO	93,793
41,783			18,892	39,243	28,411		43,937	39,243						
65,869			29,782	51,931	44,789		69,265	51,931						
56,949			25,749	42,543	38,723		59,885	42,543						
55,999			25,048	40,862	37,67		58,255	40,862						
79,529			35,958	67,632	54,077		83,629	67,632						
10	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	6	34,251	16,166	19,294	39,981	20,394	35,481	19,294	42,151	2	3	NEGÓCIO	82,132
38,484			18,163	25,67	22,914		39,866	25,67						
60,668			28,634	50,101	36,123		62,847	50,101						
52,452			24,756	42,469	31,231		54,336	42,469						
51,025			24,082	40,598	30,381		52,857	40,598						
73,249			34,572	59,267	43,615		75,88	59,267						

Nº	Variável Independente		Variável Dependente										Resultado Final	Benefício Conjunto
	Consumidor	Estratégia	Retalhista				Consumidor				Duração da Negociação (Número de Propostas)			
			Preço (€/MWh)	Limite Min. (€/MWh)	Preço Final (€/MWh)	Benefício (€/MWh)	Preço (€/MWh)	Limite Máx. (€/MWh)	Preço Final (€/MWh)	Benefício (€/MWh)	Enviadas pelo Consumidor (Recebidas pelo Retalhista)	Recebidas pelo Consumidor (Enviadas pelo Retalhista)		
<i>3º Grupo de Teste</i>														
11	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	7	31,338	18,801	27,965	43,557	28,138	36,19	27,965	44,363	2	2	NEGÓCIO	68,526
			35,211	21,124	31,331		31,615	40,663	31,331					
			55,508	33,301	50,305		49,84	64,103	50,305					
			47,991	28,792	45,546		43,09	55,422	45,546					
			46,685	28,008	46,685		41,916	53,914	46,685					
67,02	40,207	40,207	60,175	77,397	40,207									
12	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	2	38,04	14,283	39,115	50,682	26,667	42,556	39,115	55,038	3	2	NEGÓCIO	105,720
			42,74	16,043	41,435		29,363	47,815	41,435					
			67,378	25,3	57,024		47,235	75,378	57,024					
			58,254	21,874	44,395		40,838	65,17	44,395					
			56,668	21,278	45,585		39,727	63,397	45,585					
81,351	30,546	90,084	57,031	91,01	90,084									
13	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	7	33,412	25,488	26,554	47,099	28,988	42,143	26,554	50,310	2	2	NEGÓCIO	97,409
			37,541	28,637	30,461		32,57	47,351	30,461					
			59,181	45,146	57,791		51,345	74,647	57,791					
			51,167	39,032	47,4		44,392	64,538	47,4					
			49,774	37,37	47,232		43,184	62,782	47,232					
71,454	54,508	57,273	61,993	90,127	57,273									
14	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	2	39,127	28,982	29,066	47,920	21,483	42,791	29,066	51,081	15	15	NEGÓCIO	99,002
			43,962	32,564	33,272		24,137	48,079	33,272					
			69,304	51,335	56,133		38,051	75,794	56,133					
			59,919	44,383	48,532		32,898	65,529	48,532					
			58,288	43,175	47,21		32,003	63,746	47,21					
83,677	61,981	62,301	45,943	91,512	62,301									
15	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	2	32,237	14,504	27,094	46,274	29,198	37,771	27,094	49,210	2	2	NEGÓCIO	95,484
			36,221	16,297	32,635		32,807	42,439	32,635					
			57,1	25,691	54,273		51,718	66,903	54,273					
			49,367	22,212	46,923		44,715	57,843	46,923					
			48,024	21,607	45,646		43,498	56,269	45,646					
68,941	31,019	59,081	62,444	80,778	59,081									
16	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	2	39,963	22,761	24,325	46,491	19,792	42,401	24,325	49,320	8	8	NEGÓCIO	95,811
			44,902	25,574	30,392		22,238	47,64	30,392					
			70,786	40,317	56,063		35,057	75,103	56,063					
			61,2	34,857	48,47		30,31	64,332	48,47					
			59,534	33,908	47,15		29,485	63,165	47,15					
85,466	48,678	53,148	42,327	90,678	53,148									
17	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	3	38,883	14,263	41,178	49,170	19,914	41,178	41,178	51,655	2	2	NEGÓCIO	100,825
			43,688	16,032	40,801		22,375	46,267	40,801					
			68,872	25,274	45,39		35,273	72,937	45,39					
			59,545	21,851	41,761		30,496	63,06	41,761					
			57,925	21,257	56,728		29,666	61,344	56,728					
83,155	30,515	80,795	42,588	88,063	80,795									
18	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	6	38,662	25,775	34,393	45,086	21,004	37,468	34,393	48,482	4	3	NEGÓCIO	93,568
			43,44	28,961	37,813		23,6	42,098	37,813					
			68,481	45,655	46,027		37,204	66,366	46,027					
			59,207	39,472	41,914		32,166	57,379	41,914					
			57,596	38,398	42,176		31,29	55,817	42,176					
82,682	55,123	80,129	44,919	80,129	80,129									
19	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	2	39,005	19,788	24,671	48,393	22,347	43,274	24,671	51,259	5	5	NEGÓCIO	99,653
			43,825	22,233	31,995		25,109	48,622	31,995					
			69,087	35,049	58,39		39,583	76,65	58,39					
			59,792	30,303	50,484		34,223	66,27	50,484					
			58,106	29,478	49,109		33,291	64,466	49,109					
83,415	42,317	54,641	47,792	92,545	54,641									
20	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	3	33,897	15,309	18,527	36,121	22,843	43,2	18,527	39,094	2	2	NEGÓCIO	75,214
			38,019	17,201	23,168		25,666	48,538	23,168					
			59,935	27,116	48,38		40,462	76,518	48,38					
			51,818	23,444	39,728		34,982	66,156	39,728					
			50,408	22,806	29,607		34,03	64,356	29,607					
72,364	32,74	42,764	48,853	92,387	42,764									

Nº	Variável Independente		Variável Dependente										Resultado Final	Benefício Conjunto
	Consumidor	Retailista				Consumidor				Duração da Negociação (Número de Propostas)				
		Estratégia	Preço (€/MWh)	Limite Min. (€/MWh)	Preço Final (€/MWh)	Benefício (€/MWh)	Preço (€/MWh)	Limite Mx. (€/MWh)	Preço Final (€/MWh)	Benefício (€/MWh)	Enviadas pelo Consumidor (Recebidas pelo Retailista)	Recebidas pelo Consumidor (Enviadas pelo Retailista)		
<i>1ª Grupo de Teste</i>														
21	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	3	33,884	18,371	21,066	38,800	27,387	43,438	21,066	41,868	2	2	NEGÓCIO	80,668
38,071			20,642	25,637	30,772		48,805	25,637						
60,017			32,541	50,343	48,511		76,34	50,343						
51,889			28,134	41,767	41,941		66,52	41,767						
50,477			27,368	33,062	40,8		64,71	33,062						
72,463	33,289	47,681	58,571	32,895	47,681									
22	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	3	38,315	22,22	25,016	45,126	21,23	42,007	25,016	48,637	2	2	NEGÓCIO	93,763
43,05			24,366	30,143	23,853		47,198	30,143						
67,866			33,358	57,829	37,603		74,406	57,829						
58,675			34,028	48,173	32,511		64,33	48,173						
57,078			33,102	33,01	31,626		62,579	33,01						
81,94	47,521	56,228	45,401	89,836	56,228									
23	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	3	38,484	26,882	35,322	51,522	27,959	35,322	35,322	54,678	2	2	NEGÓCIO	106,200
43,239			30,205	39,687	31,414		39,687	39,687						
68,165			47,616	55,404	43,523		62,564	55,404						
58,934			41,168	43,126	42,816		54,092	43,126						
57,33			40,047	52,62	41,651		52,62	52,62						
82,301	57,431	75,539	59,793	75,539	75,539									
24	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	6	32,443	15,425	27,425	41,342	20,636	35,003	27,425	44,586	3	2	NEGÓCIO	85,928
36,452			17,331	37,276	23,253		33,328	37,276						
57,465			27,322	44,931	36,658		61,939	44,931						
43,683			23,622	36,101	31,634		53,603	36,101						
48,331			22,979	36,792	30,831		52,144	36,792						
69,383	32,988	74,857	44,26	74,857	74,857									
25	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	3	34,758	14,404	17,939	35,961	28,199	41,552	17,939	38,976	2	2	NEGÓCIO	74,936
39,053			16,184	22,738	31,683		46,687	22,738						
61,566			25,514	48,872	43,947		73,599	48,872						
53,228			22,059	33,947	43,183		63,632	33,947						
51,78			21,459	28,33	42,008		61,901	28,33						
74,333	30,805	41,817	60,305	88,862	41,817									
26	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	6	37,911	29,055	37,804	51,541	29,26	37,804	37,804	53,491	5	5	NEGÓCIO	105,032
42,536			32,646	42,475	32,876		42,475	42,475						
67,15			51,465	56,493	51,827		66,961	56,493						
58,056			44,435	48,081	44,808		57,893	48,081						
56,476			43,284	54,705	43,589		56,317	54,705						
81,076	62,137	62,575	62,575	80,847	62,575									
27	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	2	30,932	24,66	29,113	46,463	28,526	37,96	29,113	49,535	2	2	NEGÓCIO	35,937
34,754			27,708	33,486	32,051		42,651	33,486						
54,788			43,68	53,788	50,526		67,237	53,788						
47,369			37,765	46,505	43,684		58,132	46,505						
46,079			36,737	45,238	42,435		56,55	45,238						
66,15	52,739	62,663	61,005	81,181	62,663									
28	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	3	30,057	15,815	18,289	34,002	23,071	30,028	18,289	36,709	2	2	NEGÓCIO	70,711
33,772			17,769	22,356	25,922		33,738	22,356						
53,239			28,013	44,357	40,865		53,187	44,357						
46,03			24,219	36,736	35,331		45,984	36,736						
44,777			23,56	28,788	34,369		44,733	28,788						
64,28	33,822	41,527	43,339	64,217	41,527									
29	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	3	29,885	20,469	22,104	37,910	26,789	34,137	22,104	40,742	2	2	NEGÓCIO	78,652
33,578			22,998	26,03	30,099		38,355	26,03						
52,934			36,255	47,061	47,45		60,465	47,061						
45,765			31,346	39,621	41,024		52,277	39,621						
44,52			30,493	33,949	33,908		50,854	33,949						
63,911	43,774	48,868	57,29	73,004	48,868									
30	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	7	32,739	14,64	26,708	46,391	27,849	39,267	26,708	49,489	2	2	NEGÓCIO	35,880
36,785			16,45	33,528	31,29		44,119	33,528						
57,369			25,932	53,56	43,328		69,552	53,56						
50,136			22,42	47,029	42,648		60,133	47,029						
48,772			21,81	44,931	41,487		58,436	44,931						
70,015	31,31	62,918	53,557	83,975	62,918									

Nº	Variável Independente		Variável Dependente										Resultado Final	Benefício Conjunto
	Consumidor		Retailista					Consumidor			Duração da Negociação (Número de Propostas)			
	Estratégia		Estratégia	Preço (€/MWh)	Limite Min. (€/MWh)	Preço Final (€/MWh)	Benefício (€/MWh)	Preço (€/MWh)	Limite Máx. (€/MWh)	Preço Final (€/MWh)	Benefício (€/MWh)	Enviadas pelo Consumidor (Recebidas pelo Retailista)		
<i>3º Grupo de Teste</i>														
31	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	2	33,891	25,129	31,18	46,442	27,363	31,18	31,18	49,590	5	5	NEGÓCIO	36,032
			38,079	28,235	35,033		30,744	35,033	35,033					
			60,03	44,511	52,753		48,467	55,228	52,753					
			51,901	38,483	45,609		41,903	47,749	45,609					
			50,488	37,436	44,368		40,763	46,449	44,368					
72,479	53,742	66,681	58,518	66,681	66,681									
32	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	7	39,16	16,317	22,04	49,236	27,071	40,367	22,04	51,512	2	3	NEGÓCIO	100,748
			44	18,334	25,405		30,416	45,356	25,405					
			63,364	28,302	63,829		47,35	71,501	63,829					
			59,37	24,988	53,418		41,457	61,818	53,418					
			58,338	24,308	55,66		40,328	60,136	55,66					
83,748	34,896	34,896	57,894	86,329	34,896									
33	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	7	36,714	15,27	36,079	50,702	27,628	39,567	36,079	54,103	3	2	NEGÓCIO	104,805
			41,251	17,157	44,456		31,043	44,456	44,456					
			65,03	27,048	51,36		48,937	70,083	51,36					
			56,224	23,385	52,213		42,31	60,592	52,213					
			54,694	22,748	43,83		41,158	58,943	43,83					
78,516	32,657	84,617	59,086	84,617	84,617									
34	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	2	35,006	21,634	22,85	42,213	21,241	42,572	22,85	44,822	7	8	NEGÓCIO	87,035
			39,332	24,308	28,053		23,866	47,833	28,053					
			62,005	38,32	50,56		37,624	75,406	50,56					
			53,609	33,131	43,713		32,529	65,195	43,713					
			52,15	32,229	42,523		31,644	63,42	42,523					
74,864	46,267	49,742	45,427	91,044	49,742									
35	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	7	38,244	17,367	22,468	45,756	25,315	42,362	22,468	48,468	2	3	NEGÓCIO	94,225
			42,37	20,187	26,213		28,443	47,597	26,213					
			67,74	31,824	54,498		44,839	75,035	54,498					
			58,567	27,514	55,763		38,767	64,873	55,763					
			56,973	26,765	44,193		37,712	63,108	44,193					
81,788	38,423	44,933	54,138	90,595	44,933									
36	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	6	30,02	17,19	25,212	41,345	27,48	40,994	25,212	43,970	2	2	NEGÓCIO	85,315
			33,73	19,314	26,278		30,875	46,06	26,278					
			53,174	30,448	48,515		48,574	72,611	48,515					
			45,973	26,325	44,49		42,082	62,778	44,49					
			44,722	25,608	41,232		40,937	61,07	41,232					
64,201	36,762	48,344	58,768	87,669	48,344									
37	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	2	35,283	26,372	27,728	47,080	23,7	40,466	27,728	50,109	8	8	NEGÓCIO	97,189
			39,643	30,305	32,633		26,629	45,467	32,633					
			62,495	47,774	55,381		41,979	71,676	55,381					
			54,032	41,304	47,881		36,294	61,969	47,881					
			52,562	40,18	46,579		35,306	60,283	46,579					
75,456	57,681	59,841	50,685	86,54	59,841									
38	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	3	39,999	19,757	23,273	44,134	24,41	32,529	23,273	47,698	2	2	NEGÓCIO	91,832
			44,942	22,198	28,717		27,427	36,549	28,717					
			70,849	34,994	58,225		43,237	57,618	58,225					
			61,255	30,255	48,046		37,382	49,816	48,046					
			59,588	29,432	36,862		36,364	48,46	36,862					
85,542	42,252	53,204	52,203	69,567	53,204									
39	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	7	32,925	22,512	29,29	46,306	24,298	36,773	29,29	48,993	2	2	NEGÓCIO	95,299
			36,994	25,294	33,071		27,301	41,317	33,071					
			58,32	39,874	53,774		43,039	65,134	53,774					
			50,422	34,475	46,387		37,21	56,314	46,387					
			49,05	33,536	46,203		36,198	54,781	46,203					
70,414	48,144	57,144	51,964	78,642	57,144									
40	Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	2	35,968	18,36	38,6	51,115	27,534	39,922	38,6	55,021	3	2	NEGÓCIO	106,136
			40,412	20,629	39,397		30,936	44,855	39,397					
			63,708	32,52	53,747		48,77	70,712	53,747					
			55,081	28,116	49,617		42,165	61,136	49,617					
			53,582	27,351	48,457		41,018	59,472	48,457					
76,32	39,264	85,376	58,864	85,376	85,376									

Tabela C.4: Resultados dos 40 ensaios do grupo 4.

Nº	Variável Independente		Variável Dependente										Resultado Final	Benefício Conjunto
	Consumidor	Retailista				Consumidor				Duração da Negociação (Número de Propostas)				
	Estratégia	Estratégia	Preço (€/MWh)	Limite Min. (€/MWh)	Preço Final (€/MWh)	Benefício (€/MWh)	Preço (€/MWh)	Limite Máx. (€/MWh)	Preço Final (€/MWh)	Benefício (€/MWh)	Enviadas pelo Consumidor (Recebidas pelo Retailista)	Recebidas pelo Consumidor (Enviadas pelo Retailista)		
<i>4º Grupo de Teste</i>														
1	Random Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	7	32,489	23,345	26,432	45,328	27,388	42,783	26,432	47,735	2	2	NEGÓCIO	93,063
			36,504	26,23	32,506		30,773	48,07	32,506					
			57,547	41,35	51,46		48,512	75,78	51,46					
			43,754	35,75	45,757		41,943	65,518	45,757					
			48,4	34,777	47,21		40,801	63,735	47,21					
63,482	43,925	55,064	58,573	91,435	55,064									
2	Random Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	3	38,1	20,047	23,183	43,101	21,938	36,536	23,183	46,532	2	2	NEGÓCIO	89,632
			42,809	22,524	28,338		24,649	41,051	28,338					
			67,486	35,508	56,227		38,859	64,715	56,227					
			58,347	30,639	46,566		33,536	55,351	46,566					
			56,753	29,864	36,431		32,682	54,428	36,431					
81,482	42,871	52,639	46,317	78,135	52,639									
3	Random Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	2	31,461	24,333	32,124	43,523	22,852	35,851	32,124	46,342	5	5	NEGÓCIO	89,865
			35,343	27,408	34,026		25,676	40,281	34,026					
			55,726	43,207	48,41		40,476	63,501	48,41					
			48,173	37,356	42,336		34,335	54,301	42,336					
			46,868	36,339	41,352		34,043	53,407	41,352					
67,282	52,168	63,452	48,87	76,67	63,452									
4	Random Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	3	33,339	25,38	26,773	44,534	29,56	31,841	26,773	47,773	2	2	NEGÓCIO	92,306
			37,526	28,516	31,098		33,213	35,776	31,098					
			59,158	44,355	54,157		52,359	56,4	54,157					
			51,147	38,867	45,314		45,268	48,762	45,314					
			49,755	37,809	40,753		44,036	47,435	40,753					
71,426	54,277	58,615	63,217	68,096	58,615									
5	Random Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	3	32,024	25,174	26,364	43,426	28,883	32,714	26,364	46,557	2	2	NEGÓCIO	89,983
			35,382	28,285	30,431		32,453	36,757	30,431					
			56,723	44,589	52,451		51,16	57,945	52,451					
			43,042	38,551	44,572		44,232	50,098	44,572					
			47,707	37,502	40,017		43,028	48,735	40,017					
68,486	53,836	57,542	61,77	69,962	57,542									
6	Random Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	3	32,203	16,245	33,322	45,214	19,736	42,72	33,322	47,742	2	2	NEGÓCIO	92,356
			36,182	18,252	35,965		22,174	48	35,965					
			57,039	28,774	45,909		34,357	75,669	45,909					
			43,315	24,817	41,636		30,223	65,422	41,636					
			47,373	24,2	48,316		29,401	63,641	48,316					
68,868	34,741	68,639	42,206	91,361	68,639									
7	Random Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	3	37,532	19,742	31,143	46,615	21,303	31,143	31,143	49,555	2	2	NEGÓCIO	96,171
			42,238	22,181	34,331		24,61	34,331	34,331					
			66,586	34,368	50,328		38,736	55,162	50,328					
			57,563	30,233	46,19		33,542	47,632	46,19					
			56,002	29,41	46,334		32,629	46,334	46,334					
80,335	42,22	66,602	46,842	66,602	66,602									
8	Random Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	6	39,176	24,677	30,33	53,736	28,447	38,779	30,33	57,687	2	2	NEGÓCIO	111,483
			44,017	27,727	35,141		31,962	43,572	35,141					
			63,331	43,71	64,265		50,387	68,689	64,265					
			59,394	37,791	53,235		43,563	53,387	53,235					
			58,361	36,763	54,438		42,378	57,77	54,438					
83,781	52,775	71,187	60,836	82,933	71,187									
9	Random Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	3	30,038	21,068	22,626	38,532	24,852	32,461	22,626	41,333	2	2	NEGÓCIO	79,325
			33,75	23,671	26,56		27,323	36,472	26,56					
			53,205	37,317	47,611		44,02	57,436	47,611					
			45,399	32,263	40,146		38,059	49,71	40,146					
			44,748	31,385	34,678		37,023	48,357	34,678					
64,238	45,056	49,309	53,149	63,42	49,309									
10	Random Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	3	32,764	25,348	31,573	48,642	28,368	31,573	31,573	51,926	2	2	NEGÓCIO	100,568
			36,813	28,481	35,474		31,874	35,474	35,474					
			58,034	44,838	55,872		50,247	55,324	55,872					
			50,175	38,818	48,35		43,443	48,35	48,35					
			48,81	37,762	47,035		42,261	47,035	47,035					
70,063	54,209	67,521	60,668	67,521	67,521									

Nº	Variável Independente		Variável Dependente												
	Consumidor		Retalhista					Consumidor				Duração da Negociação (Número de Propostas)		Resultado Final	Benefício Conjunto
	Estratégia		Estratégia	Preço (€/MWh)	Limite Min. (€/MWh)	Preço Final (€/MWh)	Benefício (€/MWh)	Preço (€/MWh)	Limite Máx. (€/MWh)	Preço Final (€/MWh)	Benefício (€/MWh)	Enviadas pelo Consumidor (Recebidas pelo Retalhista)	Recebidas pelo Consumidor (Enviadas pelo Retalhista)		
<i>4º Grupo de Teste</i>															
11	Random Tit-For-Tat, "Opposcat" Behaviour	7	34,328	18,124	31,036	41,727	21,862	32,632	31,036	45,061	2	2	NEGÓCIO	86,768	
33,244			20,364	34,302	24,564		36,732	34,302							
61,867			32,102	47,376	38,724		57,306	47,376							
53,483			27,755	41,201	33,48		50,064	41,201							
52,033			27	34,476	32,563		48,702	34,476							
74,697	38,76	68,279	46,755	69,916	68,279										
12	Random Tit-For-Tat, "Opposcat" Behaviour	6	37,596	21,744	33,325	45,685	22,891	38,183	33,325	47,800	2	2	NEGÓCIO	93,485	
42,244			24,431	40,202	25,72		42,902	40,202							
66,596			38,514	51,803	40,546		67,633	51,803							
57,577			33,239	42,937	35,055		58,474	42,937							
56,01			32,392	43,262	34,101		56,882	43,262							
80,406	46,501	59,812	48,954	81,658	59,812										
13	Random Tit-For-Tat, "Opposcat" Behaviour	7	31,059	13,339	25,55	43,786	27,343	43,502	25,55	46,048	2	2	NEGÓCIO	89,834	
34,897			15,055	31,156	30,722		48,878	31,156							
55,013			23,734	54,364	48,432		77,053	54,364							
47,563			20,52	46,363	41,873		66,619	46,363							
46,263			19,361	41,71	40,734		64,806	41,71							
66,422	28,656	44,933	58,476	93,033	44,933										
14	Random Tit-For-Tat, "Opposcat" Behaviour	7	33,84	13,96	31,19	43,858	23,086	31,19	31,19	46,357	2	2	NEGÓCIO	30,215	
38,022			15,685	35,044	25,939		35,044	35,044							
59,939			24,727	48,735	40,891		55,246	48,735							
51,822			21,378	42,533	35,354		47,764	42,533							
50,412			20,796	42,688	34,391		46,465	42,688							
72,363	29,854	60,66	49,371	66,703	60,66										
15	Random Tit-For-Tat, "Opposcat" Behaviour	2	31,608	16,76	27,302	45,859	29,312	37,489	27,302	48,797	2	2	NEGÓCIO	34,656	
35,514			18,832	32,511	32,934		42,122	32,511							
55,986			29,687	53,619	51,919		66,403	53,619							
48,404			25,667	46,358	44,888		57,411	46,358							
47,087			24,368	45,096	43,666		55,849	45,096							
67,596	35,844	59,34	62,686	80,174	59,34										
16	Random Tit-For-Tat, "Opposcat" Behaviour	3	39,533	23,795	41,882	59,881	29,438	41,882	41,882	63,428	2	2	NEGÓCIO	123,309	
44,418			26,736	46,689	33,075		47,058	46,689							
70,024			42,148	62,957	52,142		74,184	62,957							
60,541			36,44	56,351	45,081		64,138	56,351							
58,893			35,448	62,392	43,854		62,392	62,392							
84,545	50,889	89,097	62,955	89,568	89,097										
17	Random Tit-For-Tat, "Opposcat" Behaviour	3	32,848	22,051	23,326	41,283	23,883	37,046	23,326	44,382	2	2	NEGÓCIO	85,665	
36,907			24,776	28,253	26,835		41,624	28,253							
58,183			39,059	51,45	42,304		65,619	51,45							
50,303			33,763	43,258	36,575		56,732	43,258							
48,334			32,85	36,813	35,58		55,188	36,813							
70,243	47,159	53	51,077	79,227	53										
18	Random Tit-For-Tat, "Opposcat" Behaviour	3	35,198	14,518	18,11	36,357	25,882	31,383	18,11	39,408	2	2	NEGÓCIO	75,764	
39,547			16,312	22,971	29,081		35,262	22,971							
62,344			25,716	49,448	45,844		55,588	49,448							
53,902			22,293	40,408	39,636		48,06	40,408							
52,435			21,628	29,219	38,557		46,752	29,219							
75,273	31,049	42,237	55,351	67,116	42,237										
19	Random Tit-For-Tat, "Opposcat" Behaviour	7	33,693	17,909	30,309	43,480	23,987	30,309	30,309	46,745	2	2	NEGÓCIO	30,225	
37,857			20,122	34,054	26,951		34,054	34,054							
59,68			31,722	51,307	42,487		53,685	51,307							
51,598			27,426	42,627	36,733		46,415	42,627							
50,194			26,68	37,872	35,734		45,152	37,872							
72,057	38,3	64,818	51,298	64,818	64,818										
20	Random Tit-For-Tat, "Opposcat" Behaviour	6	38,412	27,478	36,603	51,057	26,454	36,603	36,603	54,172	3	2	NEGÓCIO	105,229	
43,159			30,874	41,127	29,723		41,127	41,127							
68,038			48,671	51,4	46,858		64,834	51,4							
58,824			42,08	53,549	40,512		56,054	53,549							
57,224			40,335	48,178	39,41		54,529	48,178							
82,148	58,765	78,28	56,575	78,28	78,28										

Nº	Variável Independente	Variável Dependente												
	Consumidor	Retailista				Consumidor				Duração da Negociação (Número de Propostas)		Resultado Final	Benefício Conjunto	
	Estratégia	Estratégia	Preço (€/MWh)	Limite Min. (€/MWh)	Preço Final (€/MWh)	Benefício (€/MWh)	Preço (€/MWh)	Limite Máx. (€/MWh)	Preço Final (€/MWh)	Benefício (€/MWh)	Enviadas pelo Consumidor (Recebidas pelo Retailista)			Recebidas pelo Consumidor (Enviadas pelo Retailista)
<i>4º Grupo de Teste</i>														
21	Random Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	6	34,062	25,296	31,662	48,792	29,438	31,662	31,662	52,068	2	2	NEGÓCIO	100,880
			36,271	28,422	35,574		33,143	35,574	35,574					
			60,333	44,806	56,081		52,249	56,081	56,081					
			52,162	38,738	48,487		45,173	48,487	48,487					
			50,743	37,684	47,167		43,344	47,167	47,167					
72,844	54,038	67,711	63,084	67,711	67,711									
22	Random Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	3	32,634	19,78	22,013	39,174	28,428	35,914	22,013	42,190	2	2	NEGÓCIO	81,363
			36,667	22,225	26,364		31,942	40,352	26,364					
			57,803	35,036	49,787		50,354	63,613	49,787					
			49,975	30,292	41,588		43,535	54,998	41,588					
			48,615	29,467	34,185		42,351	53,501	34,185					
69,79	42,302	49,256	60,797	76,805	49,256									
23	Random Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	2	31,609	20,705	23,476	42,064	20,893	32,222	23,476	44,677	4	5	NEGÓCIO	86,740
			35,515	23,264	28,803		23,475	36,204	28,803					
			55,987	36,674	49,918		37,008	57,074	49,918					
			48,405	31,708	43,159		31,996	49,345	43,159					
			47,088	30,845	41,983		31,125	48,002	41,983					
67,598	44,28	51,272	44,682	68,31	51,272									
24	Random Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	3	30,079	27,859	28,245	44,432	27,925	30,893	28,245	47,498	2	2	NEGÓCIO	91,931
			33,796	31,301	32,016		31,376	34,71	32,016					
			53,278	49,345	51,893		37,008	57,074	51,893					
			46,063	42,663	44,614		42,764	47,309	44,614					
			44,81	41,502	42,317		41,6	46,022	42,317					
64,327	59,578	60,779	59,72	66,067	60,779									
25	Random Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	6	32,957	27,223	34,846	46,606	25,396	40,357	34,846	50,575	2	2	NEGÓCIO	97,181
			37,03	30,587	37,944		28,535	45,344	37,944					
			58,376	48,219	48,705		44,984	71,483	48,705					
			50,471	41,689	42,514		38,892	61,803	42,514					
			49,097	40,554	43,099		37,834	60,121	43,099					
70,482	58,218	86,307	54,313	86,307	86,307									
26	Random Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	3	32,995	22,439	35,441	49,222	24,719	36,266	35,441	52,109	2	2	NEGÓCIO	101,331
			37,073	25,212	38,296		27,774	40,748	38,296					
			58,443	39,746	52,367		43,784	64,298	52,367					
			50,529	34,364	46,743		37,855	55,598	46,743					
			49,154	33,428	50,675		36,824	54,027	50,675					
70,563	47,989	71,727	52,864	77,559	71,727									
27	Random Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	6	35,474	15,651	30,12	46,416	28,88	30,12	30,12	49,552	2	2	NEGÓCIO	35,969
			39,858	17,585	33,843		32,449	33,843	33,843					
			62,834	27,722	53,351		51,154	59,351	53,351					
			54,325	23,968	46,126		44,227	46,126	46,126					
			52,846	23,316	44,871		43,023	44,871	44,871					
75,864	33,471	64,415	61,762	64,415	64,415									
28	Random Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	3	30,673	26,434	27,17	43,603	24,686	30,089	27,17	46,670	2	2	NEGÓCIO	90,273
			34,463	29,701	31,066		27,796	33,808	31,066					
			54,33	46,823	51,687		43,725	53,296	51,687					
			46,972	40,482	44,207		37,804	46,079	44,207					
			45,694	39,38	40,936		36,775	44,825	40,936					
65,597	56,533	58,826	52,793	64,349	58,826									
29	Random Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	3	34,91	28,017	28,126	44,632	23,64	43,742	28,126	47,770	2	3	NEGÓCIO	92,402
			39,225	31,479	31,824		26,562	49,148	31,824					
			61,836	49,625	52,842		41,873	77,479	52,842					
			53,462	42,905	45,009		36,203	66,987	45,009					
			52,007	41,797	42,071		35,217	65,164	42,071					
74,659	59,916	60,422	50,557	93,547	60,422									
30	Random Tit-For-Tat, "Opponent" Behaviour	3	36,659	29,099	30,412	49,955	29,296	40,324	30,412	53,547	2	2	NEGÓCIO	103,502
			41,19	32,695	35,13		32,849	45,307	35,13					
			64,933	51,543	60,218		51,785	71,425	60,218					
			56,14	44,563	51,207		44,772	61,752	51,207					
			54,612	43,35	46,125		43,553	60,072	46,125					
78,399	62,231	66,321	62,524	86,237	66,321									

Nº	Variável Independente	Variável Dependente												
	Consumidor	Retalhista				Consumidor				Duração da Negociação (Número de Propostas)		Resultado Final	Benefício Conjunto	
	Estratégia	Estratégia	Preço (€/MWh)	Limite Min. (€/MWh)	Preço Final (€/MWh)	Benefício (€/MWh)	Preço (€/MWh)	Limite Máx. (€/MWh)	Preço Final (€/MWh)	Benefício (€/MWh)	Enviadas pelo Consumidor (Recebidas pelo Retalhista)			Recebidas pelo Consumidor (Enviadas pelo Retalhista)
<i>4º Grupo de Teste</i>														
31	Random Tit-For-Tat, "Opposcat" Behaviour	3	37,19	23,04	25,438	45,074	28,172	35,937	25,438	48,526	2	2	NEGÓCIO	33,539
			41,786	25,981	30,444		31,853	40,378	30,444					
			65,874	40,809	57,049		49,839	63,654	57,049					
			56,353	35,283	47,719		43,142	55,034	47,719					
			55,403	34,323	39,517		41,968	53,536	39,517					
79,535	49,272	56,328	60,248	76,855	56,328									
32	Random Tit-For-Tat, "Opposcat" Behaviour	6	31,405	23,134	36,378	52,711	28,975	40,572	36,378	56,314	2	2	NEGÓCIO	109,626
			35,286	25,392	41,628		32,556	45,586	41,628					
			55,626	40,376	60,164		51,323	71,864	60,164					
			48,093	35,427	47,385		44,373	62,132	47,385					
			46,784	34,463	43,344		43,165	60,441	43,344					
67,162	49,473	86,767	61,966	86,767	86,767									
33	Random Tit-For-Tat, "Opposcat" Behaviour	6	34,776	20,748	27,974	47,061	25,333	35,006	27,974	50,307	2	2	NEGÓCIO	37,367
			39,074	23,312	32,143		29,138	39,332	32,143					
			61,598	36,75	55,294		45,335	62,004	55,294					
			53,256	31,773	46,93		39,714	53,608	46,93					
			51,807	30,308	46,301		38,633	52,149	46,301					
74,372	44,371	62,6	55,461	74,863	62,6									
34	Random Tit-For-Tat, "Opposcat" Behaviour	6	31,764	16,324	24,507	43,826	27,514	40,212	24,507	47,410	2	2	NEGÓCIO	31,236
			35,63	18,342	28,224		30,914	45,181	28,224					
			56,263	28,915	55,455		48,735	71,225	55,455					
			48,644	24,939	43,194		42,135	61,58	43,194					
			47,32	24,313	41,516		40,388	59,904	41,516					
67,931	34,311	58,623	58,841	85,996	58,623									
35	Random Tit-For-Tat, "Opposcat" Behaviour	3	33,368	13,418	37,432	55,640	25,333	37,432	37,432	59,112	2	2	NEGÓCIO	114,751
			37,491	15,076	42,057		29,138	42,057	42,057					
			59,103	23,767	60,377		45,335	66,301	60,377					
			51,099	20,549	54,731		39,714	57,323	54,731					
			49,708	19,389	55,763		38,633	55,763	55,763					
71,36	28,696	80,051	55,461	80,051	80,051									
36	Random Tit-For-Tat, "Opposcat" Behaviour	6	32,588	17,353	32,44	42,457	22,583	41,134	32,44	44,983	2	2	NEGÓCIO	87,440
			36,615	19,504	35,772		25,373	46,217	35,772					
			57,723	30,748	48,506		40	72,859	48,506					
			43,906	26,584	39,246		34,583	62,993	39,246					
			48,548	25,86	39,618		33,642	61,278	39,618					
69,693	37,124	60,836	48,295	87,969	60,836									
37	Random Tit-For-Tat, "Opposcat" Behaviour	3	31,951	22,017	30,732	42,218	20,523	33,562	30,732	44,650	2	2	NEGÓCIO	86,869
			35,9	24,738	33,023		23,06	37,71	33,023					
			56,594	38,999	44,548		36,353	59,448	44,548					
			48,93	33,717	39,312		31,43	51,997	39,312					
			47,598	32,8	43,726		30,574	49,999	43,726					
68,331	47,086	61,761	43,891	71,776	61,761									
38	Random Tit-For-Tat, "Opposcat" Behaviour	7	38,325	21,863	41,44	52,345	27,662	41,44	41,44	56,316	3	2	NEGÓCIO	108,660
			43,062	24,565	43,409		31,081	46,561	43,409					
			67,885	38,725	58,624		48,998	73,402	58,624					
			58,692	33,481	43,853		42,362	63,462	43,853					
			57,094	32,57	50,233		41,209	61,735	50,233					
81,963	46,756	88,624	59,159	88,624	88,624									
39	Random Tit-For-Tat, "Opposcat" Behaviour	6	38,435	14,799	34,171	44,211	19,727	39,223	34,171	46,641	3	2	NEGÓCIO	30,853
			43,185	16,628	36,334		22,165	44,071	36,334					
			68,079	26,219	49,661		34,942	69,475	49,661					
			58,859	22,663	42,108		30,21	60,067	42,108					
			57,258	22,046	41,749		29,388	58,432	41,749					
82,197	31,649	61,136	42,188	83,883	61,136									
40	Random Tit-For-Tat, "Opposcat" Behaviour	6	37,31	26,524	31,447	51,526	28,601	36,917	31,447	54,437	2	2	NEGÓCIO	105,362
			41,92	29,802	33,765		32,135	41,479	33,765					
			66,085	46,981	59,746		50,66	65,39	59,746					
			57,136	40,619	56,14		43,799	56,535	56,14					
			55,581	39,513	51,679		42,607	54,997	51,679					
79,79	56,724	58,125	61,165	78,951	58,125									