

TESE DEFENDIDA POR Gustavo Santos  
Masili E APROVADA F  
COMISSÃO JULGADORA EM 10/02/04.  
Paulo de Barros Correia  
ORIENTADOR

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA  
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Metodologia e *software* para simulação de leilões  
de energia elétrica do mercado brasileiro

Autor: Gustavo Santos Masili  
Orientador: Paulo de Barros Correia

02/04

UNICAMP  
BIBLIOTECA CENTRAL  
SEÇÃO CIRCULANTE

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA  
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA  
PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS

**Metodologia e *software* para simulação de leilões  
de energia elétrica do mercado brasileiro**

Autor: Gustavo Santos Masili  
Orientador: Dr. Paulo de Barros Correia

Curso: Planejamento de Sistemas Energéticos

Dissertação de mestrado acadêmico apresentada à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos.

Campinas, 2004  
S.P. – Brasil

UNIDADE	BC
Nº CHAMADA	M378m
V	EX
TOMBO BC/	58940
PROC.	16-113-04
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	15/07/04
Nº CPD	

CM00198468-1

Bib id: 317652

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

M378m Masili, Gustavo Santos  
Metodologia e software para simulação de leilões de energia elétrica do mercado brasileiro / Gustavo Santos Masili. --Campinas, SP: [s.n.], 2004.

Orientador: Paulo de Barros Correia.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

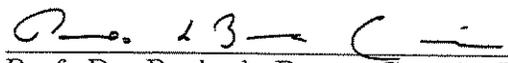
1. Simulação (Computadores). 2. Leilões. 3. Energia Elétrica - Mercado. 4. Otimização Matemática. I. Correia, Paulo de Barros. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

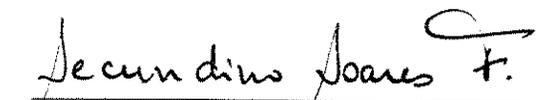
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA  
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

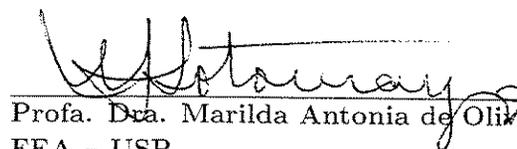
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO

Metodologia e *software* para simulação de leilões  
de energia elétrica do mercado brasileiro

Autor: Gustavo Santos Masili  
Orientador: Dr. Paulo de Barros Correia

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Paulo de Barros Correia, Presidente  
FEM – UNICAMP

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Secundino Soares Filho  
FEEC – UNICAMP

  
\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Marilda Antonia de Oliveira Sotomayor  
FEA – USP

Campinas, 10 de fevereiro de 2004

*Aos meus pais,  
aos meus irmãos,  
e à ciência,  
com amor. . .*

## Agradecimentos

Esta dissertação foi fruto de pesquisa em área multidisciplinar, envolvendo diversas pessoas as quais gostaria de homenagear. Primeiramente, gostaria de agradecer aos meus pais, João e Maria, irmãos, André e Fabiana, e demais familiares pelo suporte psicológico, emocional e afetivo, sem os quais nenhuma página deste documento seria escrita.

O meio acadêmico também proveu personalidades essenciais à construção desta obra, podendo citar meu orientador Paulo B. Correia, cujas palavras e ensinamentos iluminaram o caminho percorrido para a elaboração e construção das idéias desta dissertação. Neste período, tive o prazer e satisfação de contar com excelentes docentes, podendo mencionar Arnaldo C. S. Walter, Gilberto M. Januzzi, Carlos A. Luengo, André T. Furtado, Arsênio O. Sevá, Sérgio V. Bajay, Moacyr T. O. Andrade, Marilda A. O. Sotomayor, Secundino Soares Filho e Paulo B. Correia. Estes foram responsáveis diretos pelo meu amadurecimento como pesquisador e aluno, ampliando minhas fronteiras do conhecimento.

Agradeço pelo suporte e dedicação de Márcio L. Freire e outros companheiros da Companhia Hidrelétrica do São Francisco (Chesf), que fizeram desta dissertação uma missão entusiasmante e desafiadora. O auxílio financeiro provido pela Capes também foi essencial ao bom andamento deste documento.

Não poderia deixar de mencionar meus amigos e colegas de profissão, os alunos. A convivência diária com o famoso “Grupo de Comercialização de Energia Elétrica” me fez entender o valor da união entre as pessoas. Carla R. Lanzotti, Erick M. Azevedo, Fernando C. Munhoz, Marco A. Keiler e Tiago B. Correia, com a participação especial de Adriano J. Silva, foram meus companheiros inseparáveis durante o mestrado. Além destes, gostaria de mencionar todos os companheiros do corredor sem exceções.

Por último, mas não menos importante, gostaria de agradecer aos funcionários da Faculdade de Engenharia Mecânica, cujo empenho e dedicação proporcionaram qualidade ao ambiente de trabalho. Dentre estes, gostaria de citar Neusa A. Maria e José Rodrigues de Oliveira.

Agradeço à toda a comunidade acadêmica por contribuir e apoiar a pesquisa e à você, caro leitor, por me oferecer a oportunidade de mostrar meu trabalho.

*Mudança representa um impacto psicológico considerável na mente das pessoas. Para os pessimistas é assustadora pois significa que as coisas vão piorar . . . Para os otimistas é encorajadora pois as coisas podem melhorar. . . Para os confiantes é inspiradora pois o desafio existe para tornar as coisas melhores.*

Rei Whitney Jr.

## Resumo

Masili, G. S. (2004). *Metodologia e software para simulação de leilões de energia elétrica do mercado brasileiro*. Dissertação de mestrado, Unicamp, Campinas - Brasil.

Para o setor elétrico em todo o mundo, a transição da regulação para a competição resultou em profundas alterações nos procedimentos de operação. A competição começa a tomar forma, introduzindo leilões como forma transparente de negociação entre agentes deste setor. Este mecanismo é considerado dinâmico e eficiente, sendo utilizado para comercializar bens em mercados complexos, principalmente quando não existe uma referência estável de preço. Pode ser definido como um método formal para alocar recursos baseado na competição, onde vendedor e comprador buscam o maior benefício possível. Atualmente, a maneira mais comum de sua utilização refere-se a mercados onde agentes competem buscando encontrar um preço de equilíbrio. No Brasil, esse mecanismo vem sendo usado na negociação de contratos de lotes de energia elétrica entre geradores, distribuidores e consumidores livres. Foram formatados leilões de compra, de venda, de excedentes e de certificados de energia elétrica como forma transparente e justa de negociação. Esta dissertação se propõe a estudar, avaliar e desenvolver um simulador capaz de representar esses ambientes de forma segura e eficaz, possibilitando a avaliação de estratégias de participação por parte dos agentes interessados. Para isso, além da criação de um ambiente de simulação aderente às necessidades impostas por esses modelos, foram desenvolvidas formulações matemáticas baseadas em técnicas de otimização para determinação das negociações realizadas nos leilões.

**Palavras-chave:** *simulação, leilões, mercado de energia elétrica, otimização.*

## Abstract

Masili, G. S. (2004). *Methodology and software for auction simulation in Brazilian electricity market*. Master thesis, Unicamp, Campinas - Brazil.

For the electric sector in the whole world, the transition from regulation to competition resulted in deep transformations regarding operation procedures. The competition takes form, introducing auctions as transparent trade device between agents of this sector. This mechanism is considered dynamic and efficient, being used to trade goods in complex markets, mainly when a steady reference of price does not exist. It can be defined as a formal method to allocate resources based on competition, where sellers and buyers look for the highest possible benefit. Currently, the most common way of its use refers to markets where agents compete and determine an equilibrium price. In Brazil, this mechanism is being used in contract negotiations of energy lots between energy generators, distributors and consumers. Purchase, sale, certificate and excess auctions had been formatted as transparent and fair form of negotiation. This dissertation considers studying, evaluating and developing a simulator capable to represent these environments in a safe and efficient way, making possible the evaluation of participation's strategies for interested agents. For such achievements, besides the creation of a simulation environment representing the necessities imposed by the models, mathematical formulations based on optimization techniques had been developed to determine the negotiations accomplished in the auctions.

**Key-words:** *simulation, auctions, electricity market, optimization.*

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Setor elétrico</b>	<b>4</b>
2.1	Reestruturação do setor elétrico . . . . .	4
2.2	Leilões: Aplicações no setor elétrico . . . . .	6
2.2.1	Mundo . . . . .	6
2.2.2	Brasil . . . . .	14
<b>3</b>	<b>Teoria dos leilões</b>	<b>22</b>
3.1	Natureza . . . . .	23
3.1.1	Oferta . . . . .	23
3.1.2	Demanda . . . . .	24
3.1.3	Duplo . . . . .	24
3.2	Forma . . . . .	25
3.2.1	Aberto . . . . .	26
3.2.2	Fechado . . . . .	27
3.3	Preço de fechamento . . . . .	27
3.3.1	Uniforme . . . . .	28
3.3.2	Discriminatório . . . . .	29
3.4	Receita e eficiência . . . . .	29
3.5	Aversão ao risco . . . . .	30
<b>4</b>	<b>Simulador de leilão <i>on-line</i></b>	<b>32</b>
4.1	Propostas de estrutura . . . . .	32
4.2	<i>Softwares</i> para construção do simulador . . . . .	39
4.2.1	Programação e desenvolvimento . . . . .	39
4.2.2	Comunicação entre agentes . . . . .	40
4.2.3	Armazenamento de dados . . . . .	41
4.2.4	Tratamento matemático do problema . . . . .	43
4.2.5	<i>Softwares</i> para conteúdo dinâmico . . . . .	44
4.2.6	Servidores . . . . .	46
4.3	Análise de requisitos . . . . .	47
4.3.1	Simulação . . . . .	47

4.3.2	Qualidade . . . . .	48
4.3.3	Segurança . . . . .	50
4.4	Participantes do processo . . . . .	50
4.4.1	Supervisor . . . . .	51
4.4.2	Observador . . . . .	51
4.4.3	Participantes . . . . .	51
4.4.4	Leiloeiro . . . . .	52
4.4.5	Auditor . . . . .	55
<b>5</b>	<b>Desenvolvimento do simulador</b>	<b>56</b>
5.1	Especificação do <i>software</i> . . . . .	56
5.2	Navegação no <i>site</i> do leilão <i>on-line</i> . . . . .	59
5.2.1	Membros . . . . .	60
5.2.2	Consultas . . . . .	64
5.2.3	Informações . . . . .	64
5.2.4	Mapa do <i>site</i> . . . . .	65
5.2.5	Dúvidas . . . . .	65
5.3	Otimização do simulador . . . . .	66
5.3.1	Leilão de venda . . . . .	67
5.3.2	Leilão de compra . . . . .	70
5.3.3	Leilão de excedentes . . . . .	73
5.3.4	Leilão de certificados . . . . .	77
<b>6</b>	<b>Implementação do modelo</b>	<b>81</b>
6.1	Simulação dos possíveis formatos de leilão . . . . .	81
6.1.1	Leilão de venda . . . . .	81
6.1.2	Leilão de compra . . . . .	83
6.1.3	Leilão de excedentes . . . . .	85
6.1.4	Leilão de certificados . . . . .	87
6.2	Considerações finais . . . . .	88
<b>7</b>	<b>Conclusões</b>	<b>90</b>
<b>A</b>	<b>Estrutura de dados</b>	<b>93</b>
<b>B</b>	<b>Detalhamento da sistemática dos leilões</b>	<b>98</b>
B.1	Leilão de venda . . . . .	98
B.1.1	Geral . . . . .	98
B.1.2	Progressão do leilão . . . . .	99
B.2	Leilão de compra . . . . .	100
B.2.1	Geral . . . . .	100
B.2.2	Progressão do leilão . . . . .	100
B.3	Leilão de excedentes . . . . .	101
B.3.1	Geral . . . . .	101

B.3.2	Progressão do leilão . . . . .	102
B.4	Leilão de certificados . . . . .	102
B.4.1	Geral . . . . .	102
B.4.2	Progressão do leilão . . . . .	102
<b>C</b>	<b>Resultados computacionais</b>	<b>104</b>
C.1	Leilão de venda . . . . .	105
C.2	Leilão de compra . . . . .	107
C.3	Leilão de excedentes . . . . .	109
C.4	Leilão de certificados . . . . .	111
<b>D</b>	<b>Sessão experimental detalhada</b>	<b>113</b>
D.1	Leilão de venda . . . . .	113
D.2	Leilão de compra . . . . .	120
	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>133</b>

# Lista de Figuras

2.1	Mercado <i>spot</i> . . . . .	20
3.1	Leilão de oferta . . . . .	24
3.2	Leilão de demanda . . . . .	24
3.3	Leilão duplo com participantes identificados . . . . .	25
3.4	Leilão duplo com participantes não identificados . . . . .	25
4.1	Algoritmo de simulação . . . . .	35
4.2	Arquitetura do simulador de leilão . . . . .	36
4.3	Estrutura do simulador . . . . .	37
4.4	Algoritmo esquemático de funcionamento do <i>site</i> proposto . . . . .	53
5.1	Mapa do <i>site</i> do leilão proposto . . . . .	59
5.2	Tela inicial . . . . .	60
5.3	Cadastro de agentes . . . . .	61
5.4	<i>Login</i> . . . . .	61
5.5	Formatação do leilão . . . . .	62
5.6	Efetivação de lances para produto de um determinado leilão . . . . .	63
5.7	Cadastro de produtos . . . . .	64
5.8	Mapa do <i>site</i> . . . . .	65
5.9	Dúvidas, reclamações e sugestões . . . . .	66
5.10	Algoritmo de funcionamento do <i>site</i> proposto . . . . .	67
5.11	Lance das geradoras em patamares de preços de reserva . . . . .	68
5.12	Lance das distribuidoras em patamares de preços de reserva . . . . .	71
5.13	Lance das geradoras em patamares de preços de reserva . . . . .	74
5.14	Lance dos participantes do leilão de certificados . . . . .	78
6.1	Ordenação dos lances dos compradores após sexto lance . . . . .	82
6.2	Ordenação dos lances dos vendedores após sexto lance . . . . .	84
6.3	Resultado do exemplo de leilão de excedentes . . . . .	85
6.4	Resultado do exemplo de leilão de certificados . . . . .	88
C.1	Programa de otimização no Lingo para leilão de venda . . . . .	106
C.2	Programa de otimização no Lingo para leilão de compra . . . . .	108
C.3	Programa de otimização no Lingo para leilão de excedentes . . . . .	110

C.4	Programa de otimização no Lingo para leilão de certificados . . . . .	112
D.1	Exemplo de lances para oferta ( $Q$ ) de 30 lotes . . . . .	114
D.2	Ordenação de 1 lance para oferta ( $Q$ ) de 30 lotes . . . . .	115
D.3	Ordenação de 2 lances para oferta ( $Q$ ) de 30 lotes . . . . .	116
D.4	Ordenação de 3 lances para oferta ( $Q$ ) de 30 lotes . . . . .	117
D.5	Ordenação de 4 lances para oferta ( $Q$ ) de 30 lotes . . . . .	118
D.6	Ordenação de 5 lances para oferta ( $Q$ ) de 30 lotes . . . . .	119
D.7	Ordenação após sexto lance para oferta ( $Q$ ) de 30 lotes . . . . .	120
D.8	Exemplo de lances para demanda ( $Q$ ) de 30 lotes . . . . .	121
D.9	Ordenação de 1 lance para demanda ( $Q$ ) de 30 lotes . . . . .	122
D.10	Ordenação de 2 lances para demanda ( $Q$ ) de 30 lotes . . . . .	123
D.11	Ordenação de 3 lances para demanda ( $Q$ ) de 30 lotes . . . . .	124
D.12	Ordenação de 4 lances para demanda ( $Q$ ) de 30 lotes . . . . .	125
D.13	Ordenação de 5 lances para demanda ( $Q$ ) de 30 lotes . . . . .	126
D.14	Ordenação após sexto lance para demanda ( $Q$ ) de 30 lotes . . . . .	127

# Lista de Tabelas

2.1	Horário de entrega baseado no tipo de contrato firmado . . . . .	14
2.2	Patamares de carga para dias úteis . . . . .	20
3.1	Caracterização do leilão quanto à forma . . . . .	26
4.1	Arquitetura de integração de comércio eletrônico utilizando Java Beans . . . . .	45
4.2	Dimensões da qualidade de um <i>site</i> . . . . .	49
4.3	Variáveis de decisão e sua influência na receita de leilões . . . . .	54
5.1	Arquitetura de integração de comércio eletrônico proposta . . . . .	57
5.2	Configuração recomendada para o servidor . . . . .	57
5.3	Configuração recomendada para o cliente . . . . .	58
5.4	Programas a serem instalados no servidor do simulador . . . . .	58
6.1	Exemplo de lances para oferta ( $Q$ ) de 30 lotes . . . . .	82
6.2	Exemplo de lances para demanda ( $Q$ ) de 30 lotes . . . . .	83
6.3	Exemplo dos lances para leilão de excedentes . . . . .	85
6.4	Exemplo de rateio para o leilão de excedentes . . . . .	86
6.5	Exemplo dos lances ocorridos no dia 16 de agosto de 2001 para o leilão de certificados . . . . .	87
6.6	Resultado do exemplo do leilão de certificados ocorrido no dia 16 de agosto de 2001 . . . . .	88
C.1	Tabela da otimização do exemplo para determinação dos negócios no leilão de venda . . . . .	105
C.2	Tabela da otimização do exemplo para determinação dos negócios no leilão de compra . . . . .	107
C.3	Tabela da otimização do exemplo para determinação dos negócios no leilão de excedentes . . . . .	109
C.4	Tabela da otimização do exemplo para determinação dos negócios no leilão de certificados . . . . .	111
D.1	Exemplo de lances para oferta ( $Q$ ) de 30 lotes . . . . .	114
D.2	Exemplo de 1 lance para oferta ( $Q$ ) de 30 lotes . . . . .	115
D.3	Exemplo de 2 lances para oferta ( $Q$ ) de 30 lotes . . . . .	116

D.4	Exemplo de 3 lances para oferta ( $Q$ ) de 30 lotes . . . . .	117
D.5	Exemplo de 4 lances para oferta ( $Q$ ) de 30 lotes . . . . .	118
D.6	Exemplo de 5 lances para oferta ( $Q$ ) de 30 lotes . . . . .	119
D.7	Exemplo de 6 lances para oferta ( $Q$ ) de 30 lotes . . . . .	120
D.8	Exemplo de lances para demanda ( $Q$ ) de 30 lotes . . . . .	121
D.9	Exemplo de 1 lance para demanda ( $Q$ ) de 30 lotes . . . . .	122
D.10	Exemplo de 2 lances para demanda ( $Q$ ) de 30 lotes . . . . .	123
D.11	Exemplo de 3 lances para demanda ( $Q$ ) de 30 lotes . . . . .	124
D.12	Exemplo de 4 lances para demanda ( $Q$ ) de 30 lotes . . . . .	125
D.13	Exemplo de 5 lances para demanda ( $Q$ ) de 30 lotes . . . . .	126
D.14	Exemplo de 6 lances para demanda ( $Q$ ) de 30 lotes . . . . .	127

# Capítulo 1

## Introdução

A reestruturação do setor elétrico no mundo teve início na década passada, com a desverticalização das empresas e alteração em suas atividades. Essa reestruturação consistiu, principalmente, na mudança de um mercado monopolístico com contratos baseados no custo para um mercado de competição com contratos baseados no preço (Dekrajangpetch e Sheblé, 2000).

A comercialização passou a representar uma área de interesse comum para as empresas, uma vez que o valor de seus insumos e produtos depende da negociação envolvida em compras e vendas. Dessa forma, o mecanismo de leilão se insere nesse contexto de mercado como forma de negociação entre agentes, fornecendo uma valiosa base de teste para a teoria econômica.

Leilões tradicionais usualmente envolvem agentes localizados no mesmo ambiente físico. Para transpor as barreiras geográficas de consumidores potenciais, o setor elétrico brasileiro passou a adotar o comércio eletrônico em suas negociações. Essa característica permitiu que leilões fossem realizados a baixo custo e com mais agentes que os envolvidos em leilões tradicionais.

Esta dissertação tem como objetivo caracterizar o desenvolvimento de um simulador de leilão *on-line* para comercialização de energia elétrica. Esse mecanismo possibilita a formatação de modelos de leilão já realizados no setor elétrico brasileiro, sendo eles: de compra, de venda, de excedentes e de certificados. Para cada um desses formatos de leilão foi desenvolvida uma formulação matemática, baseada em técnicas de otimização, responsável

por determinar os resultados das negociações dos leilões, bem como representar as restrições impostas por esses modelos.

Vale lembrar que a existência dos leilões é vetusta, transcendendo milênios para chegar aos mecanismos atualmente conhecidos. Dentre as publicações mais influentes desse tema se destaca um artigo, datado de 1961, de William Vickrey, que em 1996 recebeu o prêmio Nobel de economia. Sua proposta - a criação de um formato de leilão onde o agente vencedor paga o valor referente ao segundo maior lance em um leilão de um único objeto - foi considerada inovadora por se tratar de um mecanismo que incentiva os agentes a dar um lance igual ao valor de oportunidade do bem, caracterizando a eficiência do mesmo (Vickrey, 1961).

O presente documento se divide em 7 capítulos que englobam desde a caracterização do mercado de aplicação deste modelo até os resultados obtidos. O *capítulo 2* introduz ao leitor os pontos básicos para a compreensão e desenvolvimento do mecanismo de leilão aplicado ao setor elétrico. São mencionados fatores como a reestruturação do setor elétrico, responsável pela inserção de leilões como mecanismo de negociação entre agentes do setor. Aplicações deste mecanismo em diversos mercados do mundo e no Brasil também são eliciadas, visando demonstrar a aplicabilidade e flexibilidade do mesmo.

Leilões podem ser formatados de diferentes maneiras conforme descrito no *capítulo 3*. Teoricamente, sob algumas hipóteses, todos os formatos geram o mesmo resultado. A realidade demonstra ausência total ou parcial dessas características, o que torna importante a preocupação com o tipo de leilão a ser aplicado. Cada formato de leilão possui diferentes características para a determinação do lance de equilíbrio para a participação de agentes. Isso faz do estudo dessa ferramenta econômica um valioso subsídio para a formulação desta dissertação.

Todo esse estudo inicial visa conceituar os aspectos necessários à criação de um *software* capaz de representar a realidade dos leilões. O desenvolvimento de um simulador de leilão *on-line* requer a compreensão dos objetivos básicos de uma simulação e de preocupações com a qualidade e segurança do mesmo. Esses tópicos são evidenciados no *capítulo 4*, assim como propostas estruturais de pesquisadores para a criação desse ambiente. São citadas particularidades fundamentais para a programação e desenvolvimento do simulador.

A especificação proposta para o *software*, os participantes do processo e a forma de navegação no *site* de leilão *on-line* são comentados no *capítulo 5*. A otimização dos dados recebidos através do simulador para os diversos formatos de leilão exequíveis também são caracterizadas nesse capítulo, identificando formulações de programação inteira mista para determinação das negociações ocorridas.

O *capítulo 6* comprova a congruência dos resultados obtidos em relação a valores esperados através de simulações usando o *software* desenvolvido. Dessa forma busca-se demonstrar a completude, operacionalidade, transparência, flexibilidade e robustez desse produto.

Os estudos precedentes deixaram em aberto inúmeras incógnitas relativas ao mecanismo de leilão e suas aplicações em mercados do setor elétrico. A presente dissertação deve, portanto, contribuir com a comunidade científica, visando ampliar as fronteiras do conhecimento e buscar resultados que possibilitem a existência de uma sociedade cada vez mais justa.

# Capítulo 2

## Setor elétrico

O Brasil teve seu setor elétrico reestruturado em meados da década passada, seguindo tendências de mercados internacionais. Este fato trouxe modificações em sua organização mercadológica, inserindo a competição entre agentes. Este capítulo descreve a trajetória seguida em diversos países do mundo, terminando por aferir seus reflexos no mercado brasileiro.

### 2.1 Reestruturação do setor elétrico

A energia elétrica é um componente de grande importância na estrutura industrial. Para maior segurança de fornecimento e para melhorar a operação e o planejamento econômico, o sistema elétrico de potência é naturalmente uma indústria de rede.

Há décadas estes sistemas vinham sendo constituídos de empresas detentoras exclusivas de áreas de concessão. Os consumidores de uma área eram obrigados a comprar do detentor da concessão. As empresas eram verticalmente integradas, exercendo as funções de geração, transmissão e distribuição, para evitar duplicidade de equipamentos e serviços, e obter economias de escala. A característica de monopólio fazia com que o poder público definisse os preços baseados nos custos mais uma remuneração garantida. Esta estrutura não incentivava que os monopólios buscassem maior eficiência e custos mais baixos.

A crise do petróleo de 1974 fez aumentar as preocupações em reduzir, também, os preços

de energia elétrica. Para isso, vários países fizeram modificações nas legislações para quebrar os monopólios, privados ou estatais, e introduzir competição. Essas legislações ainda estão em evolução e existem muitas diferenças entre as mesmas nos diversos países (Sheblé, 1999).

Após a década de 70, o setor elétrico brasileiro entrou em declínio, tendo como principais motivos o endividamento externo do setor, a recessão e a estagnação da demanda, e a utilização de suas empresas, desde o início da década, pelo governo federal para atingir metas econômicas e políticas de seus planos de governos. O modelo de monopólio estatal, para esse setor, exauriu-se por todos esses motivos apresentados anteriormente e o governo, por pressões interna e externa ao setor, decidiu pela reestruturação e a privatização das empresas.

Durante o final de 1996 e início de 1997, o MME elaborou um trabalho juntamente com consultores liderados pela *Coopers & Lybrand*, que estabeleceu as linhas gerais do modelo do setor elétrico a ser implantado no Brasil. Esse relatório foi utilizado como bússola para guiar os reestruturadores do setor elétrico brasileiro.

A nova legislação para o setor permitiu a introdução em maior escala do produtor independente e do autoprodutor, os quais vêm entrando em competição direta com as empresas já existentes, tendo como objetivos sua expansão, uma melhor alocação dos recursos, e a concorrência por meio da qualidade, confiabilidade e melhor preço para o consumidor. A princípio, somente os grandes consumidores de energia têm liberdade de escolha quanto ao fornecedor, mas, no futuro, este privilégio também deverá ser estendido ao consumidor cativo.

O Estado, depois do início das privatizações das empresas do setor, criou a ANEEL, órgão responsável pela regulamentação e fiscalização, após a desverticalização das atividades do setor em geração, transmissão, distribuição e comercialização. Esta seqüência de fatos foi, teoricamente, prejudicial ao setor elétrico, uma vez que o órgão regulador deveria auxiliar nas privatizações do setor. Esse órgão implantou, na geração e na comercialização, um mercado concorrencial, além de desenvolver a regulamentação para a distribuição e transmissão.

O setor elétrico tem algumas características próprias, pois negocia seu produto através de contratos. Esse é um fato que interliga, diretamente, a geração, transmissão e a distribuição

de energia elétrica, sendo fundamentais a eficiência e a confiabilidade na qualidade e na coordenação do sistema elétrico. O novo modelo do setor elétrico (MME, 2003), proposto em 11 de dezembro de 2003, veio reafirmar o interesse em manter características monopolísticas na transmissão e distribuição, ficando somente a geração e a comercialização com possibilidades de livre concorrência. Além disso, foi mantida a utilização de leilões como mecanismo de formação de preços no mercado de longo prazo.

## 2.2 Leilões: Aplicações no setor elétrico

Esta seção tem como objetivo mostrar as aplicações de leilões em diversos mercados do mundo, possibilitando comparar seus aspectos com o mercado nacional.

### 2.2.1 Mundo

#### Reino Unido

O Reino Unido teve seu mercado de energia elétrica liberado após sua reestruturação e privatização em 1990. Desde então, diversos outros países vêm se empenhando para reformar seus mercados de energia elétrica.

Em 2000, o governo britânico iniciou uma programa de reforma para a indústria de energia chamado *Reform the Electricity Trading Arrangements* (RETA). Esta reforma buscou introduzir lances de demanda em leilões e encorajar a inovação no mercado de energia com instrumentos do mercado financeiro. O governo acreditava que os objetivos de promoção da competição e redução nos preços só seriam alcançados caso o mercado se auto-regulasse (Wolfram, 1999). O preço da energia era determinado através de ofertas de quantidade e preço para o dia seguinte por parte dos geradores ao governo. Com isso, o preço de fechamento era equivalente ao maior lance necessário para suprir a demanda prevista, caracterizando um leilão fechado com preço de fechamento uniforme.

Em março de 2001 surge o *New Electricity Trading Arrangements* (NETA), substituindo o *Electricity Pool*, cuja organização centralizada e inflexível na determinação de preços de

energia elétrica falhou na redução de preços e aumento de competição (OFGEM, 2004). Neste novo mercado, os leilões passaram a ter preço de fechamento discriminatório.

Um dos princípios básicos do NETA é que aqueles buscando comprar ou vender energia devem poder participar de contratos firmados livremente para tal. O objetivo do programa NETA é prover mecanismos para liquidação e determinação, em tempo real, dos desequilíbrios entre posições física e contratual de compradores, vendedores, produtores e consumidores de energia elétrica (OFGEM, 2004).

Quando indústrias geradoras de energia elétrica foram privatizadas, diferenças estruturais, legais e comerciais caracterizavam a Escócia e o Reino Unido. Isso fez com que o mercado atacadista Escocês não emergisse, sendo necessária a tomada de providências para organizar este mercado. Foi criado então o *British Electricity Trading and Transmission Arrangement* (BETTA). Este mecanismo deve ser responsável por trazer preços mais competitivos para consumidores Escoceses, sendo sua completa atuação prevista para 2004 (OFGEM, 2004).

### ***Nord Pool***

A Noruega foi um dos primeiros países da Europa, junto do Reino Unido, a abrir seu mercado de energia elétrica. No final da década de 80, contava com preços variados de energia para diferentes áreas geográficas, tendo sua produção predominantemente hidráulica (Skytte, 1999a).

O mercado de comercialização de energia da Noruega (*Nord Pool*) foi ampliado em 1996 para atuar nos mercados Sueco e Norueguês de energia elétrica. Empresas Finlandesas e Dinamarquesas também passaram a atuar neste mercado como compradoras ou vendedoras (Skytte, 1999b).

Este mercado é composto por um mercado *spot* para negociação física e um mercado financeiro de futuros. *Elspot* é o mercado *spot* para negociação física de energia elétrica para uma hora. É baseado em negociações através de leilões e fixação simultânea de preços. Agentes participantes enviam ofertas de compra ou venda eletronicamente para realização de transações no dia seguinte (*day-ahead*). É caracterizado como sendo um leilão duplo fechado de preço uniforme, com preço calculado com base nos lances de oferta e demanda

dos participantes das diferentes áreas, respeitando-se os limites de transmissão (Makkonen e Lahdelma, 2001).

*Eltermin* é o mercado de futuros do *Nord Pool*, oferecendo a agentes a possibilidade de gerenciar riscos e realizar contratos de *hedge*. A operação se restringe ao lado contábil da transação, dispensando a entrega física da energia. Os contratos são estabelecidos diariamente utilizando o sistema de preços do mercado *spot* (NordPool, 2004).

## **Espanha**

Em 24 de dezembro de 1997 foi criada a *Compañía Operadora del Mercado Español de Electricidad S. A.*, responsável pela gestão econômica e desenvolvimento do mercado de produção de energia elétrica (OMEL, 2004). Desde então, o mercado de comercialização de energia elétrica na Espanha foi subdividido em dois: mercados diário e intradiário. Estes são caracterizados por leilões duplos fechados de primeiro-preço com agentes não identificados e preço de fechamento uniforme para cada hora do dia.

O mercado diário é responsável pela maioria das transações, objetivando realizar transações de energia elétrica para o dia seguinte mediante a apresentação de ofertas de compra e venda por parte dos agentes de mercado. Neste caso, os ofertantes são todas as unidades de produção disponíveis (que não estão vinculadas a um contrato bilateral físico), bem como os agentes externos registrados como compradores. Os demandantes neste mercado são distribuidoras, comercializadores, consumidores qualificados e agentes externos registrados como compradores. Ofertas de compra e venda são enviadas até as 10:00 horas do dia, podendo conter até 25 lances de quantidade e preço para cada hora do dia, sendo os lances de preço dos ofertantes ordenados em ordem crescente e dos demandantes em ordem decrescente. O programa diário de base de funcionamento é obtido às 11:00 horas, informando o preço marginal horário e as negociações ocorridas.

Já o mercado intradiário é responsável pelos ajustes de mercado, onde unidades de produção, distribuidoras, comercializadores, consumidores qualificados e agentes de mercado podem atuar como demandantes ou ofertantes. Este mercado está estruturado em sessões com diferentes distribuições de horários de funcionamento. Ofertas de venda podem

possuir até 5 lances de quantidade e preço sendo as ofertas de compra restritas a um único lance de preço e quantidade. O preço em cada hora é determinado pelo preço do último lance de oferta aceito para atender total ou parcialmente a demanda a um preço igual ou superior ao preço marginal.

## Argentina

O início da privatização e desverticalização do setor elétrico da Argentina teve início em 1992 com a criação da lei nacional nº 24.065. Esta lei foi criada objetivando promover competição nos mercados de geração e comercialização de energia elétrica, além de prover condições adequadas de segurança operacional da transmissão e distribuição. Foram estabelecidos um regulador nacional, *Ente Nacional Regulador de la Electricidad* (ENRE), e o mercado atacadista de energia elétrica, *Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico S. A.* (CAMMESA).

O ENRE é o órgão regulador de todos os estágios da indústria, principalmente da transmissão e distribuição. Também supervisiona o mercado atacadista, estabelecendo normas de serviço e o preço máximo para lances de serviços de distribuição e transmissão.

A CAMMESA é responsável pelo planejamento do despacho horário das geradoras e pela determinação das transações ocorridas. Os preços são determinados pela interação entre oferta e demanda. A oferta no país é formada pelos produtores independentes de energia elétrica, importadores de energia e geradoras públicas e privadas. A demanda é constituída de distribuidoras, grandes consumidores (consumo acima de 100 kW-médio anuais) e consumidores internacionais. A energia pode ser negociada a partir de três preços: contratual, sazonal e *spot* (IDFC, 1998).

Preços contratuais diferem entre si devido à negociação envolvendo as partes interessadas. Estes contratos têm duração de, no mínimo, um ano.

Duas vezes ao ano a CAMMESA determina o preço sazonal, baseando-se em parâmetros como demanda prevista, disponibilidade de oferta, preço de combustíveis e capacidade dos reservatórios.

Já o preço *spot* é determinado através da utilização de um leilão de oferta fechado com

preço de fechamento uniforme. Os procedimentos do mercado atacadista de energia, *Mercado Elétrico Mayorista* (MEM), incitam geradores a dar lances equivalentes ao seu custo de produção, além de fornecer um limite superior para os lances (*price-cap*). O despacho é realizado priorizando-se os geradores com menor lance de preço, sendo o preço de fechamento do leilão equivalente ao valor do lance de preço mais alto despachado.

### ***PJM Interconnection***

Em novembro de 1997, nos EUA, a *PJM* foi reestruturada e estabelecida como um Operador Independente do Sistema (ISO) para a interconexão entre *Pennsylvania, New Jersey e Maryland*, tendo iniciado sua operação em janeiro de 1998. *PJM* opera nos mercados de energia elétrica do dia seguinte (*day-ahead*) e de tempo real (*real-time*), além de abranger mercados bilaterais, futuros e de auto-suprimento.

No mercado do dia seguinte, surgido em junho de 2000, os preços da energia são calculados em base horária e locacional a partir de transações bilaterais e lances de oferta e demanda submetidas para o próximo dia de operação. Existem três formas de geração neste mercado: geração planejada, ofertas de geração e ofertas de incremento. A geração planejada pode ser submetida como uma quantidade fixa de energia a ser despachada ou como uma quantidade mínima a ser despachada mais um componente adicional. Ofertas de geração são lances de oferta com quantidade e preço. Ofertas de incremento são transações financeiras que servem como forma de *hedge* contra as flutuações do mercado *spot*, servindo para suprir uma quantidade determinada a um preço igual ou superior ao valor especificado (PJM, 2002). Para os demandantes, existem três formas equivalentes neste mercado: demanda planejada, oferta de demanda e oferta de decremento.

O mercado de tempo real tem seus preços locacionais calculados em intervalos de cinco minutos, baseando-se nas condições reais de operação (PJM, 2004). Apesar de apresentar oscilações abruptas, este mercado gera preços pouco inferiores ao custo marginal de operação da unidade de maior custo do sistema.

Mensalmente a *PJM* realiza leilão de direitos fixos de transmissão (FTR), cujo objetivo é assegurar que seus detentores recebam uma compensação por despesas com congestionamento.

mento na transmissão. Este leilão consiste em um leilão para carga de ponta (das 8:00 às 24:00 nos dias de semana) e outro para carga fora de ponta (das 24:00 às 8:00 nos dias de semana e o dia todo nos finais de semana e feriados). Cada FTR é definido por um ponto de entrada na rede e pelo ponto de entrega (PJM, 2002). Este é um leilão duplo fechado com participantes não identificados e preço de fechamento uniforme.

## Califórnia

Até o final dos anos 70, a maior parte da energia elétrica gerada na Califórnia provinha de agências governamentais. Desde então, passou a ser permitida a competição no mercado atacadista por parte dos geradores de energia elétrica. No final de 1996 foi aprovada uma legislação na Califórnia que propunha a reorganização do setor elétrico e a introdução de competição no varejo para consumidores do estado a partir de março de 1998 (Pickle e Wiser, 1998). Foram criadas então duas importantes instituições para facilitar as negociações no novo mercado da Califórnia: o mercado atacadista *spot*, *California PX*; e o novo operador do sistema, *California ISO*.

*California PX* é uma corporação sem fins lucrativos criada para prover competição eficiente no mercado de curto prazo para suprir as cargas de seus consumidores à preços determinados pelo mercado. Era responsável pela comercialização nos mercados do dia seguinte, da hora seguinte (lances eram realizados 2 horas antes de a usina estar disponível) e em tempo real (lances realizados até 45 minutos antes de cada hora), tendo suspenso suas operações em janeiro de 2001 por problemas de crédito. Desde então, consumidores da Califórnia não podem mais escolher seu fornecedor de energia no mercado *spot*, sendo obrigados a comprar energia do Departamento de Recursos Hídricos da Califórnia (*California Department of Water Resources*) (RPPI, 2002).

No mercado do dia seguinte (*day-ahead*), agentes enviavam lances de oferta ou demanda para cada hora do dia seguinte. *California PX* validava e ordenava os lances para formar as curvas agregadas de oferta e demanda e, assim, determinar o preço de fechamento do mercado para cada hora (Pickle e Wiser, 1998). Estas propriedades caracterizavam este mercado como um leilão duplo fechado com agentes não identificados e preço de fechamento

uniforme.

Já no mercado da hora seguinte (*hour-ahead*), não havia interação entre lances. Seu propósito era dar a seus participantes a oportunidade de ajustar seu planejamento para o dia seguinte, minimizando seus desequilíbrios em tempo real.

O mercado em tempo real era realizado pelo *California ISO* para conduzir o despacho, ajustando a geração à demanda em tempo real. Este processo era baseado apenas nos lances de oferta, sendo que a última usina despachada definia o preço marginal do mercado em tempo real (Pickle e Wiser, 1998). Estas eram características do leilão de oferta fechado com preço de fechamento uniforme do mercado em tempo real.

Atualmente, ocorrem apenas negociações através de contratos bilaterais. Nestas negociações, compradores e vendedores têm liberdade para realizar contratos físicos ou financeiros. Acordos financeiros podem ser configurados como contratos futuros, de diferença ou de opções.

### ***ISO New England***

*ISO New England* é uma empresa privada sem fins lucrativos criada em julho de 1997 para gerenciar a geração e transmissão de energia elétrica da região de *New England* (EUA). A partir de maio de 1999 passou a administrar, com a cooperação da *New England Power Pool* (NEPOOL), o mercado atacadista de energia elétrica da região (ISONE, 2004).

O mercado *spot*, em seu regime horário, é responsável pelos ajustes de energia residual entre ofertantes e demandantes. Esta energia é transferida do ofertante para o demandante mediante o pagamento referente ao preço de fechamento da hora. Este preço é determinado pela média dos valores de tempo real calculados, em intervalos de cinco minutos, durante este período (NEPOOL, 2002).

Lances de oferta são efetuados diariamente até as 12:00 horas pelos participantes do leilão, informando preço, quantidade, parâmetros técnicos e horário. Os lances de parâmetros técnicos (preço de partida a quente e a frio, entre outros) são enviados até os dias 1 e 15 de cada mês, cada qual referenciando valores para a próxima quinzena. Assim, são organizados os lances de forma a minimizar custos de operação e transação. Quando esta curva de

oferta cruza com a quantidade demandada determina-se o preço de fechamento do mercado (NEPOOL, 2002).

Desta forma, este é um leilão de oferta fechado com preço de fechamento uniforme. Após o planejamento do despacho, um *software* de gerenciamento do sistema energético (EMS) monitora o estado do sistema de transmissão e envia instruções de despacho para o controle automático de geração (AGC).

### ***European Energy Exchange (EEX)***

EEX é o mercado de energia elétrica da Alemanha, tendo surgido a partir da fusão entre a *LPX Leipzig Power Exchange* e a *European Energy Exchange de Frankfurt*. Esta entidade regula os mercados *spot* e futuro do país, possibilitando negociações entre agentes de diversos países da Europa (EEX, 2004).

No mercado *spot*, que entrou em operação em agosto de 2000, são negociados contratos para blocos de energia através de leilões. Existem dois tipos de plataforma de negociação, sendo uma relativa a negociações através de leilão fechado para contratos horários e de blocos e outra para leilões abertos para negociação de contratos para cargas de base e pico. Este mercado tem como objetivo facilitar a negociação de produtos padronizados a curto prazo, possibilitando ajustes energéticos aos agentes do mercado.

No leilão aberto, cada lance recebido é avaliado quanto à sua factibilidade. A menor unidade para negociação em contratos é 1MW a cada hora de entrega (Tabela 2.1). O procedimento diário de negociação se divide nas seções de pré-negociação (7:30 às 8:00 horas), negociação (8:00 às 12:00 horas) e pós-negociação (12:00 às 17:00 horas) (EEX, 2002b). Durante a pré-negociação, agentes podem realizar e modificar lances sem a possibilidade de realizar transações ou mesmo avaliar os concorrentes. Já durante a negociação, é possível verificar o preço indicativo atual do leilão e a situação dos agentes. Após o fechamento do leilão, determina-se os negócios ocorridos (priorizando o preço e horário dos lances) e o preço de fechamento. Na fase de pós-negociação, as transações ocorridas são processadas e os lances não atendidos participam automaticamente do leilão fechado.

Tabela 2.1: Horário de entrega baseado no tipo de contrato firmado

Descrição do contrato	Horário de entrega
Carga de base (dias úteis)	0:00 às 23:59 horas (24 horas/dia)
Carga de pico (dias úteis)	8:00 às 20:00 horas (12 horas/dia)
Carga de base (final de semana)	0:00 às 23:59 horas (24 horas/dia)

Para o leilão fechado, é informado semanalmente (às 11:30 horas da quinta-feira) o limite máximo para lances. Agentes podem dar lances de oferta ou demanda (informando preço e volume) para o dia seguinte relativos a cada hora ou a blocos. Lances podem ser efetuados até as 11:30 horas por fax ou até as 12:00 horas pelo *software* de transmissão *ElWeb* (EEX, 2002b). Na ausência de restrições de capacidade, aplica-se um único preço de energia no leilão horário na Alemanha. Os lances de oferta e demanda são organizados de forma crescente e decrescente respectivamente. O preço de fechamento do mercado é determinado pelo encontro destas curvas, caracterizando o leilão como fechado duplo com agentes não identificados e de preço uniforme.

O mercado futuro possui transações padronizadas com relação às características da energia negociada (volume, local e horário de entrega, qualidade, entre outros). Seus contratos são divididos, quanto ao tipo de carga, em carga de base ou de pico, podendo-se negociar pelos períodos mensal, trimestral ou anual (EEX, 2002a).

### 2.2.2 Brasil

No Brasil, a reestruturação do setor elétrico promoveu uma série de mudanças no que se refere à aplicação de leilões no setor elétrico. Este mecanismo de formação de preços passou a ser amplamente utilizado no setor, sendo utilizado tanto em licitações de empreendimentos e linhas de transmissão como na comercialização de energia elétrica.

## **Leilão de empreendimento**

Os leilões de empreendimento são decorrentes das concessões para construção de instalações e exploração das atividades de geração e transmissão, licitadas pela ANEEL. Este tipo de licitação realizada através de leilão permite a participação de investidores interessados em empreendimentos do mercado de energia brasileiro. Este é um fato advindo da modificação do papel do Estado após a reestruturação deste setor, que deixou de ser o principal responsável pela construção e administração de usinas e do sistema de transmissão (ANEEL, 2004).

Neste leilão, o empreendimento é oferecido pela ANEEL como um único item (indivisível), através de um leilão de demanda para a geração e de oferta para a transmissão. Nos leilões de geração os participantes compram a concessão, enquanto no leilão de transmissão vendem o serviço de transmissão. Assim, os formatos de leilão usados para usina de geração e linha de transmissão são diferentes. Em ambos, o ganhador recebe integralmente o direito de construir a instalação e explorar a concessão.

Os leilões de geração são formatados como um leilão de demanda aberto ascendente (Inglês). O valor do lance inicial é definido pelo leiloeiro, baseado na avaliação realizada por consultores. Para evitar a manipulação estratégica deste leilão por parte de agentes participantes, o valor incremental dos lances de preço é definido pelo leiloeiro. Caso o leiloeiro perceba qualquer ato dessa natureza, pode ainda modificar estes valores no decorrer do leilão, objetivando manter seu bom andamento (ANEEL, 2002a).

Já os leilões de transmissão possuem duas rodadas distintas, onde os interessados fazem lances para a remuneração a ser recebida para a exploração da concessão. Desta forma, a probabilidade de sucesso do proponente neste leilão aumenta com a redução do lance de preço. A primeira rodada corresponde a um leilão fechado de primeiro preço, com preço de reserva definido pela ANEEL. É definida uma faixa de competição, até 5% do preço de liquidação desta primeira rodada, que qualifica os participantes para a segunda rodada. O papel da faixa de competição é incentivar os participantes a fazerem lances competitivos na primeira rodada. Na segunda rodada, os agentes previamente qualificados participam de um leilão aberto descendente efetuado com lances a viva voz, podendo ser definidos decrementos

mínimos entre os lances dos proponentes. Em caso de empate na segunda rodada, ocorre um sorteio promovido pelo diretor do leilão para determinar o vencedor (ANEEL, 2002b).

### **Mercado bilateral**

De acordo com as leis 10.438 (Congresso Nacional, 2002a) e 10.604 (Congresso Nacional, 2002b) de 2002, a comercialização de energia elétrica de concessionárias de geração de serviço público federais pode ser dada através de leilões das empresas geradoras, leilões exclusivos com consumidores finais, operações no MAE, aditamentos dos contratos em vigor ou outra forma de comercialização. Além disso, estas geradoras podem negociar energia nas licitações, na modalidade de leilão, de concessionárias de serviço público de distribuição.

O mercado bilateral é um ambiente de negociação que apresenta liberdade na formatação dos leilões de comercialização de energia elétrica. Neste mercado, o comercializador pode organizar seu próprio leilão, definindo as regras de forma a atrair participantes e realizar negociações interessantes. O mercado bilateral pode ser composto por dois segmentos: bolsa (ainda não disponível no Brasil) e balcão.

A negociação em bolsa gera maior liquidez no mercado, sendo um ambiente de negociação propício para que o mercado funcione em condições de concorrência perfeita. As bolsas possuem algumas funções básicas, como por exemplo: a definição de regras sob as quais funciona o mercado, fornecimento de condições físicas para que o mercado funcione, produção de informações rotineiras sobre o mercado e, por fim, criam mecanismos de auto-regulação para resolver questões conflitantes e evitar possíveis manipulações de preços. A grande vantagem da bolsa é agilizar a negociação na medida em que padroniza contratos e viabiliza um centro de liquidez, sendo fundamental para a construção de expectativas do preço futuro da energia elétrica.

Uma bolsa de contratos futuros de energia pode ser vista como um leilão aberto duplo com participantes identificados, onde os lances de oferta e demanda são liquidados em tempo real. Estes contratos oferecem um *hedge* contra a volatilidade do preço *spot*. Por estar permanentemente em operação, possibilita uma flexibilidade na correção das estratégias dos participantes. No Brasil este mercado deve ser implementado futuramente, com o amadure-

cimento do modelo vigente.

O mercado de balcão é responsável pela comercialização de grande parte da demanda de energia das empresas distribuidoras e varejistas privadas. No mercado de balcão das concessionárias, assim como em uma bolsa, é possível formatar contratos à vista e a termo. Derivativos como opções de compra (*calls*), opções de venda (*puts*) e *swaps* também são formatados, porém em pequena escala. O balcão de comercialização apresenta dificuldades para a sinalização do preço de mercado, tendendo a gerar uma certa assimetria de informação. Desta forma, o mecanismo de leilão fornece sinais de preço que auxiliam na definição de estratégias de comercialização de energia ou contratos de balcão.

Nos últimos anos, devido a constantes alterações mercadológicas, surgiram 4 mecanismos responsáveis pela negociação de contratos no setor elétrico brasileiro através de leilão:

- *Leilão de venda*

Um exemplo de negociação em mercado bilateral realizado no Brasil recentemente foi o leilão organizado pelo MAE em setembro de 2002. Seu objetivo foi tornar disponível aos agentes distribuidores e comercializadores lotes ofertados por geradoras federais e, em alguns casos, estaduais e privadas que desejaram participar do leilão (MAE, 2004). Foi realizado por força de imposição do art. 27 da lei nº 10.438 (Congresso Nacional, 2002a), que determina que ao menos 50% da energia elétrica comercializada pelas geradoras federais, inclusive o montante de energia elétrica reduzido dos contratos iniciais, deve ser negociada em leilões públicos.

Este foi um leilão duplo ascendente de preço uniforme com agentes identificados. Vendedores especificavam a quantidade de energia elétrica ofertada para cada submercado, definindo o prazo dos contratos (2, 4 ou 6 anos) e as potências máxima e mínima associadas. Os patamares de preço eram determinados pelo vendedor, que estava restrito a estabelecer até cinco patamares. Desta forma, os lances realizados pelos demandantes continha apenas valores relativos à quantidade de energia demandada. Um novo patamar de preço era alcançado caso a demanda superasse a oferta para o preço corrente, podendo o vendedor aumentar a

quantidade negociada para este novo patamar.

*- Leilão de compra*

O artigo 4º da medida provisória 64 de 2002 criou a figura do leilão de compra para as concessionárias de serviço público de distribuição. Foi então publicada a resolução nº246 de 2003 (ANEEL, 2003a), que estabelece condições gerais para a compra de energia elétrica das distribuidoras por meio de licitação. Neste leilão, conforme o edital de leilão 001 de 2003 (MAE, 2003b), as distribuidoras participam de uma rodada para identificar os patamares de sua curva de demanda. Esta será confrontada com a oferta posteriormente, em um leilão aberto duplo com agentes identificados e preço de reserva.

Este mecanismo visa estimular a negociação de contratos de energia elétrica por parte das distribuidoras parcialmente descontratadas. Sua periodicidade é mensal, sendo prevista sua prática pelo período de 12 meses a partir de julho de 2003. Seus contratos podem apresentar prazos de 6, 9 ou 12 meses ou ainda até o final de 2004.

*- Leilão de excedentes*

O leilão de excedentes de energia elétrica foi desenvolvido pelo Ministério de Minas e Energia buscando incetivar a alocação de parte da sobra de energia oriunda do deslocamento de 25% da produção agregada aos contratos iniciais para os consumidores finais.

Neste leilão, agentes vendedores determinam seus patamares de curva de oferta anteriormente ao leilão e, em caso de produtos semelhantes, os lances são agrupados. Sendo um leilão aberto descendente, semelhante ao Holandês, os proponentes compradores dão lances de quantidade ao preço especificado pelo leiloeiro. Conforme o preço de lance vai encontrando os patamares determinados pelos vendedores, a quantidade ofertada vai decrescendo, fazendo deste mecanismo um leilão duplo (fechado para vendedores e aberto para compradores) descendente com agentes identificados.

*- Leilão de certificados*

Com a necessidade da criação de um Programa Emergencial de Racionamento de Energia e o estabelecimento de metas de consumo, o governo brasileiro tornou possível a transferência de metas de energia entre consumidores durante o período de racionamento <sup>1</sup>. O Ministério de Minas e Energia atribuiu ao MAE a responsabilidade de desenvolver e implementar um ambiente para que esta transferência fosse realizada de forma segura, transparente e eficaz. Assim, o MAE desenvolveu os Leilões do MAE, em parceria com a Bovespa e a Companhia Brasileira de Liquidação e Custódia (CBLIC), ambiente virtual através do qual era possível comprar e vender certificados de direito de uso de redução de meta durante o período de racionamento de energia por meio de leilões eletrônicos realizados diariamente através da Internet.

Com o fim do racionamento, as negociações dos excedentes de energia chegaram ao fim, deixando a certeza do desenvolvimento de um ambiente seguro e eficiente, que contou com a participação de mais de 300 clientes durante o seu funcionamento, contribuindo para que o país superasse a crise energética e ao mesmo tempo realizasse bons negócios (MAE, 2004).

### **Mercado *spot***

Ajustes referentes à energia elétrica comercializada em contratos bilaterais são realizados mediante à compra e venda no MAE (Figura 2.1), a um preço único (preço do MAE ou preço *spot*) que varia de acordo com a oferta e demanda. A lei 10.604 de 2002 (Congresso Nacional, 2002b) reforça que a parcela de energia que não for comercializada através de leilões, licitações ou outros mecanismos deve ser liquidada no mercado de curto prazo do MAE.

---

<sup>1</sup>Silva (2003) propôs um mecanismo de leilão objetivando maximizar a quantidade negociada entre agentes, podendo ser usado em ocasiões emergenciais como a do racionamento.

Tabela 2.2: Patamares de carga para dias úteis

Patamar de carga	Horário
Leve	das 00h01 às 07h00
Média	das 07h01 às 18h00 e das 21h01 às 24h00
Pesada	das 18h01 às 21h00

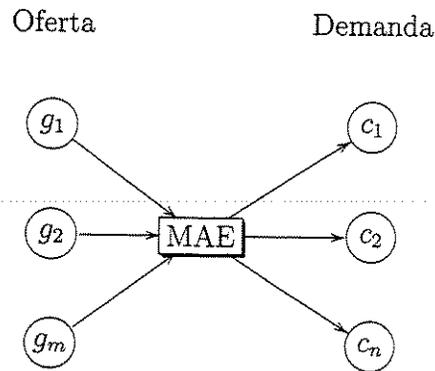


Figura 2.1: Mercado *spot*

Após a publicação da resolução 228 de 2002 da ANEEL (ANEEL, 2002c), o preço *spot* é calculado em base semanal, por meio de modelos matemáticos que definem o custo marginal de operação (custo de produção de uma unidade de energia adicional). Estes modelos são o Newave (discretização mensal) e o Decomp (discretização semanal), estando prevista a entrada do Dessem para o cálculo de preço diário. Esse preço ainda fornece sinais econômicos para futuros investimentos no setor e contratação de energia a longo prazo.

O preço *spot* varia de acordo com três patamares de cargas distintos: leve, média e pesada (ver tabela 2.2). Estes horários valem para dias úteis, não havendo carga pesada em domingos e feriados nacionais. O MAE publica o preço a ser praticado no mercado *spot* para cada submercado, sendo estes definidos pelo ONS (MAE, 2004).

No Brasil este mercado entrou em funcionamento em setembro de 2000, mas se mostrou ineficiente. O principal motivo foi que a adaptação de um modelo computacional para determinação do preço de mercado não refletia a realidade. Esse modelo gerou uma alta

volatilidade nos preços de mercado e, às vésperas do racionamento de energia, chegou a sinalizar que não faltaria energia elétrica ao informar baixos preços de mercado.

Caso a livre competição substitua estes modelos de previsão de preço, o mercado *spot* poderá ser um leilão fechado de bem homogêneo, podendo ser classificado como: de oferta, se forem possíveis apenas lances de oferta; ou duplo, se forem possíveis lances de oferta e demanda. Mesmo sendo um leilão fechado, ele será repetido com muita frequência em condições muito semelhantes, gerando informações próximas às de um leilão aberto aos agentes participantes.

## Capítulo 3

# Teoria dos leilões

O *teorema do rendimento equivalente* é o mais louvado dentre os teoremas da teoria dos leilões (Klemperer, 2000). Segundo este teorema, sob certas condições, todos os tipos de leilão geram o mesmo rendimento esperado. As condições para verificação desta característica são a existência de um mercado atomizado com informação simétrica, onde compradores neutros ao risco possuem um valor privado para os produtos obtido a partir de uma distribuição comum estritamente crescente (Klemperer, 1999).

Desta forma, qualquer mecanismo, no qual os vencedores sejam os agentes com maior valor esperado para o produto e qualquer agente com a menor valoração espera zero de excedente, resulta em compradores realizando o mesmo pagamento esperado. Estas características indicam o funcionamento de um leilão ótimo para o caso geral. Assim, quando existe uma simetria entre os agentes participantes do leilão, qualquer leilão é vencido pelo agente com maior sinal de preço.

Leilão é um mecanismo de negociação definido por uma série de regras para especificar como é determinado o vencedor e quanto este deve pagar (Wolfstetter, 1999). Uma característica marcante para os leilões é a presença de assimetria de informações (Klemperer, 1999). Assumindo-se esta propriedade, a caracterização deste mecanismo se torna necessária, uma vez que diferentes tipos de leilões podem levar a resultados divergentes. A caracterização de leilões é feita a partir de sua natureza (oferta, demanda ou duplo), pela forma como os lances são oferecidos (aberto ou fechado) e pela determinação do preço de

fechamento (primeiro ou segundo preço).

Ademais, pode ou não possuir preço de reserva, referindo-se este ao menor lance válido para participação no leilão. O preço de reserva é utilizado apenas em casos onde compradores/vendedores especificam preços, acima/abaixo do qual não estão dispostos a realizar negócios (Dekrajangpetch e Sheblé, 2000).

Leilões podem ainda ser utilizados seqüencialmente (*multi-round*), baseando-se em procedimento interativo de atualização dos lances a cada *round* ou interação. Contreras et al. (2001) acreditam que leilões seqüenciais permitem que participantes alcancem um despacho final adequado com respeito à operação e rentabilidade. As maiores desvantagens desse leilão são a dificuldade de implementação e o risco de cooperação. Esse tipo de leilão é utilizado no *National Electricity Market* (NEM) da Austrália e no *New Zealand Electricity Market* (NZEM).

## 3.1 Natureza

A natureza de um leilão é determinada através do papel exercido pelos distintos grupos de participantes (compradores e vendedores) no mesmo. Essa característica permite caracterizar leilões como sendo de oferta, de demanda ou duplo.

### 3.1.1 Oferta

No leilão de oferta (Figura 3.1), os vendedores ofertam um bem que o demandante pretende adquirir pelo menor preço. O preço do produto leiloado é determinado pelos vendedores. O demandante pode fixar um preço de reserva acima do qual o bem não é adquirido e vence o participante que fizer o menor lance de oferta.

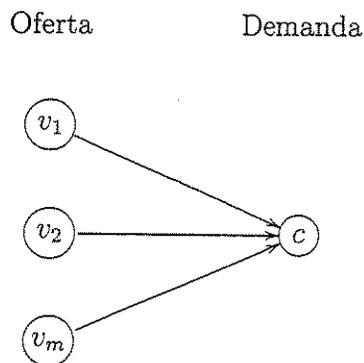


Figura 3.1: Leilão de oferta

### 3.1.2 Demanda

Em um leilão de demanda (Figura 3.2), os compradores fazem lance de demanda para comprar um bem que o ofertante pretende vender pelo maior preço. Vence o participante que fizer o maior lance de demanda, desde que seu lance seja maior do que o preço de reserva.

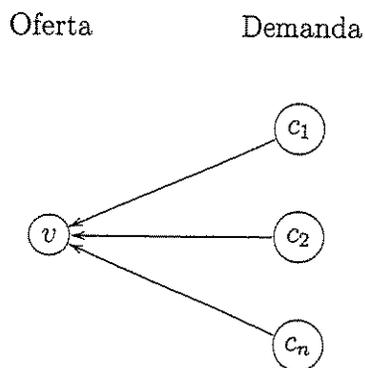


Figura 3.2: Leilão de demanda

### 3.1.3 Duplo

No leilão duplo os vendedores fazem lances de oferta e os compradores fazem lances de demanda simultaneamente. O preço de fechamento deste leilão é estabelecido no intervalo entre os lances de oferta e demanda, dependendo das regras estabelecidas (Dekrajangpetch

e Sheblé, 2000). O leilão duplo pode ser caracterizado pela existência ou não de agentes identificados, ou seja, os agentes podem negociar entre si (Figura 3.3) ou por intermédio de um leiloeiro (Figura 3.4).

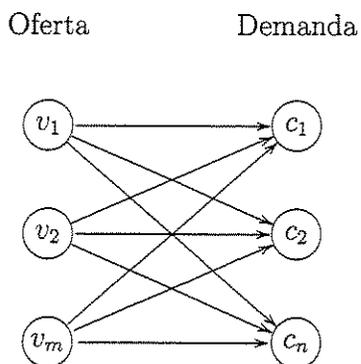


Figura 3.3: Leilão duplo com participantes identificados

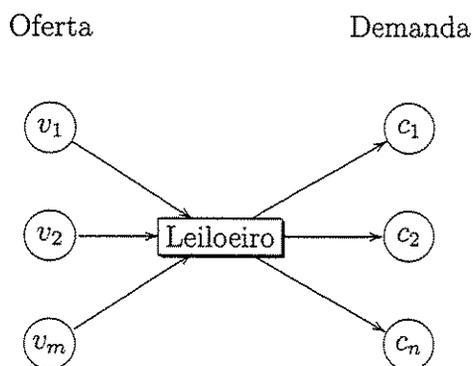


Figura 3.4: Leilão duplo com participantes não identificados

## 3.2 Forma

A forma de um leilão estabelece a característica que determina como são realizados os lances. A divisão quanto à forma dá-se entre leilão aberto ou fechado (Tabela 3.1).

Tabela 3.1: Caracterização do leilão quanto à forma

Aberto	Fechado
Ascendente (Inglês)	Segundo-preço (Vickrey)
Descendente (Holandês)	Primeiro-preço

### 3.2.1 Aberto

No leilão aberto, o preço do bem leiloado é determinado através de um processo dinâmico de estabelecimento do lance vencedor. Este processo dinâmico pode ocorrer de forma ascendente ou descendente.

#### *Ascendente (Inglês)*

Quando os lances são realizados seqüencialmente, cada um deles melhorando o lance imediatamente anterior temos o chamado leilão aberto ou Inglês. Os lances são descendentes no leilão de oferta e ascendentes no leilão de demanda. Neste leilão, o preço pode ser anunciado pelo vendedor (*relógio*<sup>1</sup>) ou pelos compradores interessados. A negociação se encerra quando a quantidade demandada pelos agentes remanescentes no leilão se torna inferior à oferta ou com o tempo máximo para negociações alcançado. Este leilão permite que o valor de oportunidade de cada participante seja confrontado com o dos demais.

Para Wolfstetter (1999), um forte argumento a favor da utilização do leilão Inglês é sua simplicidade estratégica, uma vez que os participantes não necessitam de considerações complexas para determinar sua estratégia de atuação. Existem, porém, algumas características negativas relacionadas a este tipo de leilão. Uma é a natureza em tempo real do leilão, produzindo custos de transação relativamente altos quando comparados ao leilão fechado. Além disso, este tipo de leilão, quando aplicado ao despacho de sistemas elétricos, não revela a curva da oferta para geradores remanescentes no mercado.

<sup>1</sup>Valor do lance para o produto é alterado com o passar tempo

### *Descendente (Holandês)*

No leilão descendente, o leiloeiro inicia o leilão com um valor extremamente alto e reduz o mesmo continuamente. O primeiro agente a aceitar o lance corrente obtém o objeto (Klemperer, 1999). Um lance equivalente ao valor de oportunidade do agente maximiza sua probabilidade de sucesso na transação, sendo seu benefício (diferença entre o valor de oportunidade e o preço de fechamento) nulo (Sheblé, 1999). A possibilidade de aumento de ganhos cresce à medida que o preço é reduzido.

Para Sheblé (1999), o leilão Holandês requer uma avaliação do mercado e do valor do bem leiloado. Negligenciar esta avaliação *ex-ante* aumenta a chance do agente não realizar negócio.

### **3.2.2 Fechado**

No leilão fechado, os lances são apresentados simultaneamente ao leiloeiro em envelopes fechados. Ganham os participantes que fizeram os melhores lances, desde que o preço de reserva tenha sido alcançado. A preferência de alocação das unidades leiloadas é para os agentes com melhores lances de preço, até que estas unidades se esgotem. Este leilão exige que cada participante faça o lance considerando exclusivamente seu valor de oportunidade, pois ele somente toma conhecimento dos demais lances quando o leilão está encerrado.

Para Ethier et al. (1999), esta forma de leilão faz com que ofertantes submetam lances de preço iguais ao seu custo e lances de quantidade equivalentes à sua capacidade. Afirmam ainda que, na prática, é responsável pelo aumento do preço da eletricidade e redução da eficiência do leilão com relação ao leilão teórico.

## **3.3 Preço de fechamento**

O preço de fechamento impõe regras para determinação do valor pelo qual o bem leiloado é negociado. Em um leilão, o preço de fechamento pode ser definido como sendo uniforme ou discriminatório.

### 3.3.1 Uniforme

Este é o tipo de preço de fechamento mais utilizado em leilões para comercialização de energia elétrica, tendo sido usado nos leilões de venda, compra, excedentes e certificados. Em um leilão uniforme, todos os agentes vencedores pagam o mesmo preço, independentemente do valor de seus lances (Hudson, 2000). O preço uniforme pago por todas as unidades adquiridas é igual ao primeiro lance de preço rejeitado (Ethier et al., 1999).

Kahn et al. (2001) afirmam que o leilão de preço uniforme, no mercado de energia da Califórnia, faz com que agentes dêem lances com valor próximo ao seu custo de oportunidade marginal. Isso se explica devido ao fato de os agentes saberem que, tendo seus lances aceitos, podem obter um benefício referente à diferença entre o valor de seu lance e o preço de fechamento.

Os leilões de preço uniforme (de oferta ou demanda) podem ser de:

- *Primeiro-preço*: ganha o participante que fizer o melhor lance, onde o preço de liquidação corresponde ao lance ganhador. É o tipo de leilão preferido pelos vendedores, uma vez que tende a gerar preços superiores ao valor ótimo (Sheblé, 1999);
- *Segundo-preço (Vickrey)*: vence o participante que fizer o melhor lance, sendo o preço de liquidação correspondente ao melhor lance perdedor. Apesar de muito recomendado pelos economistas, o leilão de segundo preço tem sido raramente posto em prática, ao menos em casos de leilão *multi-item* (Fabra et al., 2002). Segundo Wolfstetter (1999), leilões de segundo-preço podem ser facilmente manipulados pela solicitação, por parte do leiloeiro, de lances-fantasma próximos ao maior lance submetido. Leilões de segundo-preço tendem a ter seu preço de fechamento inferior ao preço ótimo devido à falta de conhecimento, por parte dos compradores, de que a estratégia dominante é dar um lance igual ao valor de oportunidade. Para Kumar e Feldman (1998) este leilão é incentivador (*incentive compatible*), uma vez que leva os agentes participantes a apregoar lances equivalentes a sua valoração real do item.

### 3.3.2 Discriminatório

No leilão discriminatório, também conhecido como leilão *Yankee*, cada agente vencedor paga o valor de seu lance pelo produto requerido. Este leilão tende a desencorajar a utilização de poder de mercado através de uma maior visibilidade de preços. Hudson (2000) e Marmioli et al. (1999) alegam que o leilão discriminatório também tem o potencial de reduzir casos de retenção estratégica de capacidade, acentuando a confiança no sistema.

Este formato de modelo (*pay-as-bid*) foi adotado pela Inglaterra e pelo País de Gales após as reformas de março de 2001 no setor elétrico. Autoridades regulatórias Britânicas acreditavam que leilões de preço uniforme eram mais sujeitos à manipulação estratégica por parte de grandes negociadores que leilões de preço discriminatório. Além disso, esperavam que este novo formato trouxesse reduções nos preços de energia no atacado (Fabra et al., 2002).

## 3.4 Receita e eficiência

A teoria dos leilões comumente envolve a comparação de diferentes formatos de leilão quanto à aspectos econômicos. Sob o ponto de vista do vendedor, a receita<sup>2</sup> gerada pelo leilão é crucial na comparação desses formatos de leilões. Da perspectiva da sociedade como um todo, a eficiência<sup>3</sup> pode ser mais importante (Krishna, 2002).

Quanto à receita, Wolfstetter (1999) e Reynolds (2001) afirmam que o leilão Holandês de valor comum (o valor real do produto é o mesmo para os agentes) produz uma receita esperada, por parte do vendedor, equivalente à obtida no leilão de primeiro-preço e inferior ao leilão Vickrey e ao Inglês (relógio). Já no caso de valoração privada entre agentes (o valor real do produto é diferenciado para os agentes), todos os leilões geram o mesmo rendimento.

---

<sup>2</sup>Ou o preço esperado para a venda do objeto

<sup>3</sup>Eficiência em um leilão denota a propriedade do objeto ser adquirido pelo comprador/vendedor com maior/menor valor de oportunidade *ex-post* para o bem

Estas relações, que consideram agentes neutros ao risco, são mostradas abaixo:

Holandês = Primeiro-preço  $\leq$  Vickrey  $\leq$  Inglês (relógio) (Valor comum),

Holandês = Primeiro-preço = Vickrey = Inglês (relógio) (Valor privado).

Agora sob o ponto de vista da eficiência econômica, Ethier et al. (1999) e Sheblé (1999) ponderam que o leilão Inglês produz uma eficiência superior ao leilão fechado de primeiro-preço e ao Holandês, sendo equivalente ao fechado de segundo-preço (Vickrey):

$$\text{Holandês} \leq \text{Primeiro-preço} \leq \text{Inglês} = \text{Vickrey}.$$

Wurman et al. (1998) acreditam que leilões de preço uniforme tendem a promover eficiência em casos de leilão com diversos compradores e vendedores; sendo a alocação considerada eficiente quando os bens leiloados são alocados aos agentes que mais os valorizam.

### 3.5 Aversão ao risco

Decisões econômicas devem considerar tanto o risco que lhes é inerente quanto a própria atitude do decisor em relação ao risco. Enquanto o risco pode ser quantificado com certa objetividade, sendo muito freqüentemente medido pela variância do retorno, a atitude do decisor em relação ao risco envolve aspectos subjetivos ou mesmo de natureza psicológica.

É interessante observar como um mesmo problema de decisão, envolvendo o mesmo risco e os mesmos decisores, pode resultar em escolhas diferentes, dependendo do modo como ele é formulado. Desta forma, a maneira como a informação é fornecida aos agentes participantes do leilão é decisiva na estruturação de suas estratégias e, conseqüentemente, nos resultados. Para Sheblé (1999), a revelação de informações tem dois efeitos principais: redução no lucro médio de cada agente por reduzir sua vantagem relativa à informação; e agentes invariavelmente com aversão ao risco estão, na média, dispostos a pagar mais.

Inicialmente, cabe distinguir os termos incerteza e risco. A incerteza é usada em situações onde a probabilidade de ocorrência de um evento não pode ser quantificada. Em contrapartida, o termo risco é usado em situações onde esta probabilidade pode ser mensurada a partir

de um conjunto de eventos possíveis. Dados o conjunto de eventos e o objetivo em vista, são considerados sucessos os eventos que permitem atingir o objetivo e fracassos os eventos que não permitem atingi-los. Assim, o risco é igual à probabilidade que uma seqüência de eventos teria para resultar no fracasso.

A teoria econômica assume que a maior parte dos indivíduos tem aversão ao risco. Quanto maior a possibilidade de retorno, maior o risco envolvido. Determinado um nível de rentabilidade desejado, decorre inevitavelmente um risco a ser suportado. Assim, a primeira decisão do investidor é a definição de uma combinação entre risco e retorno aceitável.

Para o caso de agentes com aversão ao risco, a relação entre a receita esperada pelo vendedor, dados os formatos de leilão, é (Reynolds, 2001):

Holandês = Primeiro-preço <sup>2</sup> Vickrey  $\leq$  Inglês (relógio) (Valor comum),

Holandês = Primeiro-preço  $\geq$  Vickrey = Inglês (relógio) (Valor privado).

O autor ainda prova que um vendedor neutro ou avesso ao risco prefere o leilão Holandês ao leilão Inglês. Klemperer (1999) afirma que vendedores avessos ao risco preferem o leilão de primeiro-preço ao leilão Vickrey e, por uma razão similar, preferem o leilão Vickrey ao leilão Inglês. Ademais, o autor comenta que o leilão de primeiro-preço gera preços de fechamento superiores com agentes avessos ao risco.

---

<sup>2</sup>Reynolds (2001) afirma não ser possível relacionar o leilão de primeiro-preço ao leilão Inglês no caso de aversão ao risco e valor comum

# Capítulo 4

## Simulador de leilão *on-line*

Com a conceituação contextual desta dissertação realizada anteriormente, faz-se necessária a descrição de propostas existentes para o desenvolvimento da estrutura do simulador de leilão *on-line*. Este capítulo se incumba de explicitar algumas destas propostas, além de avaliar os possíveis *softwares* e requisitos para construção do simulador. Para a construção do *site*, devem ser avaliados os possíveis usuários do sistema, que também são evidenciados neste capítulo.

### 4.1 Propostas de estrutura

Para que possam ser realizadas escolhas para o desenho do simulador, é importante o entendimento das capacidades e limitações das tecnologias atualmente disponíveis para a internet. O simulador de leilão deve ser formado de aplicações distribuídas definidas por diversos programas rodando simultaneamente (Zimmerman et al., 1998).

A emergência da internet levou à criação de novos mercados eletrônicos com o objetivo de criar mecanismos para a realização de transações e para satisfazer tanto compradores como vendedores. Nestes mercados, a forma de mecanismo de mercado mais utilizada atualmente é o leilão *on-line* (Bichler e Segev, 2001). Este mecanismo vem sendo utilizado no setor elétrico brasileiro através do MAE.

O modelo computacional propõe-se a simular o ambiente de comercialização de energia

elétrica de forma flexível. O leiloeiro deve ser capaz de escolher a estrutura e as regras do leilão de forma a representar a realidade de forma fiel. Além disso, o simulador deve apresentar o histórico dos leilões anteriormente simulados e as principais estatísticas e informações referentes aos mesmos. Após a determinação das características do leilão, há de ser encontrada uma maneira para representar e avaliar os agentes e suas estratégias em simulações.

Este simulador, em fase mais avançada, deverá incorporar a rede elétrica do país. Isso fará com que haja a possibilidade de incorporar perdas de transmissão e capacidade máxima das linhas. Desta forma, os custos de perdas e de congestão nas linhas podem ser adicionados ao valor de cada bloco.

Além da determinação dos programas utilizados na implementação do simulador, deve ser analisada a arquitetura do mesmo. Reticular (1999) propõe um mercado de energia onde compradores e fornecedores estabelecem contratos bilaterais para a venda e entrega de energia. Um fórum público fornece as informações aos participantes. O mercado opera continuamente através dos processos de leilão, definição das transações e execução das mesmas. O leiloeiro conduz sessões de leilão para preencher suas necessidades energéticas. Tanto fornecedores como compradores podem conduzir leilões, sendo o processo de leilão semelhante em ambos os casos.

Zimmerman et al. (1999) discute um ambiente de simulação baseado na internet para testar diversos mercados de negociação de energia através de leilões utilizando o homem como tomador de decisão. Este produto interativo e distribuído foi criado para simular o mercado competitivo de energia elétrica do dia seguinte (*day-ahead*).

Este simulador funciona baseado em sessões para prevenir que ações de um agente interfiram nas ações dos demais. Uma sessão especifica qual sistema elétrico está sendo simulado e quais os agentes participantes, além do mecanismo de mercado em uso. Após todos os agentes darem seus lances, o simulador otimiza o leilão de acordo com as regras previamente especificadas e retorna os resultados para os usuários. Estes resultados podem ser fornecidos em diversos níveis conforme estipulação do leiloeiro. Isso permite que seja estudada a relevância das informações na tomada de decisão dos agentes.

Segundo Bapna et al. (2001) o simulador deve, a partir de informações provenientes de um leilão *on-line*, fazer com que a receita observada seja estatisticamente equivalente à dos leilões simulados. Além disso, os parâmetros do leilão devem poder ser alterados para a averiguação de seus efeitos neste ambiente.

Sheblé e Kumar (1998) propõe um simulador de leilão que permita a implementação de contratos futuros através da simulação do mercado futuro. Neste simulador, cada agente tem um terminal conectado ao leiloeiro e um avaliador de contratos. Agentes geram lances que são submetidos ao leiloeiro, que combina os lances sujeito a aprovação da avaliação dos contratos. Este simulador pode ser utilizado para treinar agentes a dar lances neste ambiente. Sheblé (1999) considera também a realização destes leilões para o mercado a termo, onde preços são determinados na data de fechamento de contrato e a transação ocorre no futuro.

Contreras et al. (2001) propõem um simulador de mercado para implementar dois tipos de leilão: de uma rodada e de múltiplas rodadas. No primeiro caso, os lances de oferta são combinados aos lances da demanda através de um algoritmo de otimização sem nenhuma interação com os participantes. Já no segundo caso este procedimento é interativo, uma vez que os geradores podem atualizar seus lances de quantidade/preço a cada interação. Isso permite aos agentes geradores a minimização do custo de restabelecimento ou impossibilidade de despacho. A implementação segue o algoritmo proposto por Otero-Novas et al. (2000) com pequenas diferenças em relação às regras de parada do processo interativo de lances. Este algoritmo (Figura 4.1) realiza um processo interativo onde, em cada estágio, cada agente modifica suas informações baseados nas informações de mercado. Este algoritmo consiste nas seguintes etapas:

- Oferta inicial: determina a quantidade e preço iniciais;
- Módulo de liquidação: o método de fechamento computa o preço *spot* como sendo o preço do maior lance aceito para suprir a demanda;
- Decisão de estratégia ótima: geradores decidem suas ofertas considerando os resultados da ultima interação como forma de levar em consideração o comportamento dos outros agentes;

- Convergência: checa quando os critérios de convergência foram alcançados, por exemplo, quando os geradores não aumentam suas receitas alterando as ofertas;
- Resultados: caso a convergência seja alcançada, os resultados (preço marginal, receitas e produção) são computados.

```

begin
  oferta_inicial
  repeat
    liquidação
    estratégia_ótima
  until teste_de_convergência = TRUE
  computa_resultados
end

```

Figura 4.1: Algoritmo de simulação

Otero-Novas et al. (2000) afirmam que este mecanismo simula o comportamento de um mercado atacadista de energia elétrica baseado em lances simples e focado na análise de estratégias.

Segundo Wurman et al. (1998), existem três principais atividades no leilão:

- Recebimento dos lances: quando um lance é recebido, o leiloeiro deve verificar se o mesmo atende às regras do leilão;
- Fornecimento de informações intermediárias: leilões normalmente fornecem resultados intermediários para os agentes;
- Fechamento: a principal finalidade de um leilão é determinar as negociações ocorridas e os agentes envolvidos.

Wurman et al. (1998) criaram um simulador que suporta diversos tipos de leilão. Isso foi possível devido à decomposição do desenho do leilão em uma série de parâmetros ortogonais.

Com estes parâmetros, foi possível a implementação dos tipos de leilão clássicos e outros ainda não estudados.

A arquitetura básica proposta por Wurman et al. (1999) é composta por um organizador de tarefas, um banco de dados, módulos de interface e programas do leiloeiro (Figura 4.2).

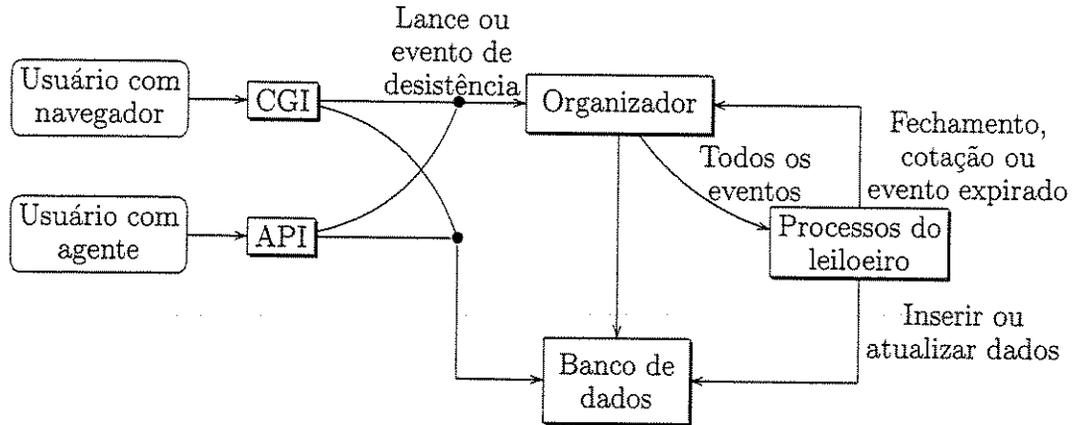


Figura 4.2: Arquitetura do simulador de leilão

Os módulos de interface provêm acesso a agentes humanos (através de servidor de internet e CGI - porta de interface comum) e *softwares* (através da API - interface de aplicação de programas). Estes módulos gerenciam as informações providas dos usuários relativas a lances, criação de novos leilões e desistências. O organizador de tarefas tem como objetivo ordenar os eventos, gerenciar o grupo de leiloeiros ativos e determinar o horário dos eventos gerados nas interfaces. Programas do leiloeiro implementam as regras do leilão, além de serem responsáveis pelo algoritmo de fechamento dos negócios. O banco de dados serve como repositório central de informações, registrando os detalhes de cada leilão.

Os aspectos operacionais do simulador devem ser capazes de lidar com a comunicação entre os agentes do mercado (geradores, consumidores e leiloeiro), com o armazenamento os dados e com problemas matemáticos (Figura 4.3). Desta forma, devem ser selecionadas as plataformas mais adequadas ao desenvolvimento de ambos os ambientes. Além disso, a determinação do tipo de informação fornecida aos agentes participantes do leilão possui um papel importante na formulação de estratégias de comportamento.

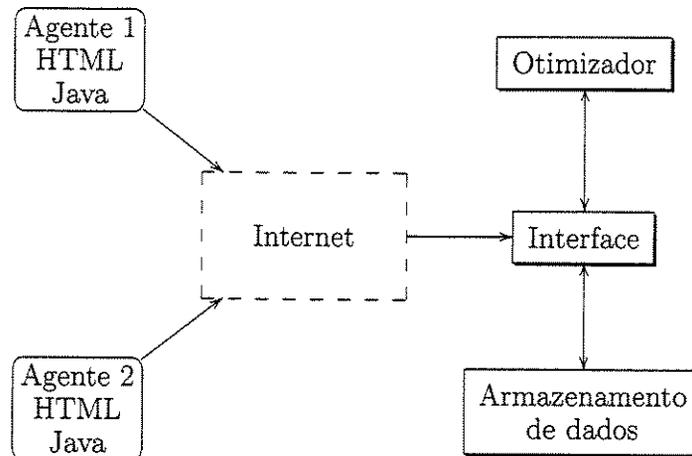


Figura 4.3: Estrutura do simulador

### Comunicação entre agentes

Cada agente possui um terminal conectado ao leiloeiro através da internet. Esses submetem lances de compra ou venda ao leiloeiro, que retorna os resultados após a simulação. Todo esse processo deve ser realizado em plataformas adequadas e eficientes.

A comunicação entre os agentes pode ser realizada utilizando Java como linguagem de programação. A plataforma Java gerencia códigos de programa em ambiente de rede, com a característica de funcionar independentemente do *hardware*, sendo ideal para aplicações na internet (Contreras et al., 2001). A linguagem HTML pode servir como suporte para os aplicativos em Java.

### Armazenamento de dados

Após os agentes darem os lances, é necessário armazenar e organizar as informações relativas ao leilão em um banco de dados. Para isso podem ser utilizados os *softwares* Oracle, MySQL e Access. A seleção do *software* mais adequado deve ser feita baseada no tipo de necessidades e nas características gerais dos usuários. Como o pacote Office é mais comumente utilizado, pode ser mais viável a programação utilizando o Access. Já o MySQL e o Oracle devem ter preferência de utilização em casos onde o problema seja robusto. A interação destes *softwares*

com o restante do simulador também deve ser avaliada, uma vez que a incompatibilidade inviabiliza qualquer proposta.

### **Tratamento matemático do problema**

O regulador do leilão deve analisar os lances propostos e determinar os lances aceitos, os rejeitados e o preço de fechamento do mercado baseado nas regras do leilão. O algoritmo deve levar em consideração algumas restrições relativas a transmissão, preço de reserva e indivisibilidade dos blocos. Lingo, Excel e Matlab são soluções propostas para a formulação e resolução destes problemas. Lingo e Excel são linguagens de simples programação, alta performance em otimizações e boa comunicação com outros *softwares*. O Matlab é um *software* que possibilita amplas aplicações e possui sofisticados pacotes de resolução de problemas matemáticos. Contreras et al. (2001) propõem que os lances sejam definidos em um ambiente baseado em Java, no qual a comunicação entre os consumidores/geradores e o regulador do leilão é simulada. Uma aplicação do Matlab, cuja interface com o ambiente em Java é feita através de um programa com Linguagem de Comando de Ferramentas (TCL), realiza o fechamento dos negócios baseado nas quantidades disponíveis para negociação entre consumidores e vendedores.

### **Informação dos agentes**

As informações fornecidas aos agentes participantes de um leilão podem ser classificadas em três tipos básicos: previsão, estado e histórico (Reticular, 1999).

*Previsões* são calculadas ou estimadas por agentes com a finalidade de facilitar a tomada de decisão. No caso de agentes do setor elétrico, consiste na previsão, tanto para o próprio agente como para seus concorrentes, dos preços de energia elétrica e das capacidades de carga e geração. Este tipo de informação gera muita incerteza, uma vez que estimativas baseiam-se em indicadores passados e presentes.

Informação baseada no *estado* informa apenas o *status* dos agentes participantes e das transações relevantes durante o leilão. Esta informação é gerada de forma dinâmica, uma vez que é alterada durante a sessão.

O *histórico* é utilizado para fornecer informação relativa aos leilões passados e/ou ao leilão corrente. Gera grande quantidade informações relevantes aos agentes, principalmente em casos de leilões repetitivos.

## 4.2 *Softwares* para construção do simulador

O desenho e a análise de estruturas de dados eficientes são considerados conceitos chave na área da computação. O desenvolvimento do *software* faz necessária a avaliação de diversas possibilidades de construção e interação entre seus componentes. Para a determinação das ferramentas adequadas a construção do ambiente, é importante entender as capacidades e limitações das tecnologias da internet disponíveis.

### 4.2.1 Programação e desenvolvimento

O programa a ser gerado em Java deve ser desenvolvido em um ambiente de programação simples, robusto e eficaz de acordo com as necessidades do produto. Destarte utilizar-se-á o *software* NetBeans para realizar esta programação.

#### NetBeans

NetBeans é uma plataforma para integração de outras ferramentas de programação. É formado por dois principais componentes: NetBeans IDE (*Integrated Development Environment*) e NetBeans Platform. Ambos são gratuitos e de código fonte aberto, tendo sido desenvolvidos com o apoio da *Sun Microsystems* utilizando a linguagem Java. Assim, os programas desenvolvidos funcionam em qualquer máquina contendo *Java Virtual Machine* (JVM).

NetBeans IDE é um ambiente integrado de desenvolvimento usado para escrever, compilar, depurar e instalar programas. É um *software* modular que permite a instalação dos módulos necessários à programação. Já o NetBeans Platform é o ambiente de desenvolvimento de aplicação possuidor de serviços comuns prontos para serem usados como menus,

janelas e barras de ferramentas. Conta também com mecanismos para gerenciamento de dados, configurações e armazenamento, o que reduz o tempo de desenvolvimento de aplicativos (NetBeans, 2004).

O programa NetBeans possibilita a criação de páginas utilizando a tecnologia *Java Server Pages* (JSP), que permite a inserção de códigos Java em um código HTML. Permite também o desenvolvimento de *servlets*, que são aplicativos para controle de seção, e beans, que são classes referentes aos dados desta seção. Além destes recursos, o NetBeans possui o servidor Tomcat internamente, não sendo necessária a instalação do Tomcat para desenvolver o *software*. Todo este ferramental é utilizado no desenvolvimento do simulador de leilão proposto.

#### 4.2.2 Comunicação entre agentes

A participação de usuários no simulador de leilão *on-line* e sua interação com o sistema remetem à questão das linguagens computacionais a serem utilizadas neste ambiente.

##### HTML

A linguagem de hiper-texto (HTML) é amplamente utilizada definindo interconexões para outras fontes de informação. Um documento HTML é interpretado por navegadores de rede, podendo conter texto, tabelas, formulários, imagens e Java *applets*. É ideal para exibição de informações para usuários da rede (Zimmerman et al., 1999).

##### Java

Java é uma linguagem orientada a objeto criada pela *Sun Microsystems* em 1991. Na metade da década de 90, tornou-se uma linguagem popular na rede mundial de computadores. Pequenos programas de Java (chamados de Java *applets*) podem ser inseridos em documentos HTML, permitindo que estes deixem de ser estáticos e se tornem interativos, possibilitando a inclusão de formulários, manipulação das informações fornecidas e ajudando a automatizar o desenho e manutenção de páginas. O código Java é interpretado pelo navegador do

usuário através de um interpretador Java. Portanto, quando o código Java é inserido em um documento HTML, ele adota os atributos da linguagem de programação do usuário (ESIP, 2001).

Segundo Goodrich e Tamassia (2001), há inúmeras razões para a utilização da linguagem Java na implementação de sistemas computacionais. Primeiramente, Java é orientada a objetos, incorporando conceitos importantes de engenharia de *software* que permitem a reutilização de códigos. Além disso, Java possui uma linguagem concisa que facilita a construção de mecanismos para realização de tarefas. Java é desenhado para funcionar independentemente da plataforma (ao contrário de C e C++), o que é um fator que pode simplificar significativamente a implementação de classes de projetos. Finalmente, Java pode ser utilizado em todos os navegadores da internet. Zimmerman et al. (1999) afirma que esta é uma linguagem de programação distribuída, segura, robusta, decifrada, de arquitetura neutra, portátil, de alta performance e dinâmica. O autor ainda pondera que esta linguagem promete ser dominante no desenvolvimento de aplicações voltadas à rede. Stavros et al. (2000) informam que a unicidade do Java está no fato de combinar tanto códigos compilados como interpretados. O tamanho reduzido de seu código compilado permite que suas classes viajem eficientemente pela internet, tornando-o muito atrativo à programação voltada a rede de comunicações. Além disso, Java é capaz de acessar e manipular bancos de dados através da conectividade a bancos de dados do Java (JDBC).

### 4.2.3 Armazenamento de dados

Para o armazenamento dos dados, podem ser utilizados os *softwares* MySQL, Access e Oracle. SQL é uma linguagem padrão por definir, organizar e manipular dados em um banco de dados (Zimmerman et al., 1998).

Uma linguagem conhecida como linguagem de consulta estruturada (SQL) é universalmente utilizada em sistemas de bancos de dados para realizar consultas e manipular dados. Alguns programas conhecidos que utilizam este tipo de linguagem são Microsoft SQL Server, Oracle, Sybase, D2B, Informix, MySQL e Microsoft Access (ESIP, 2001).

Para executar um banco de dados, um programa deve ser capaz de acessar o banco de dados. Para isso, existem diversos métodos de manipulação de banco de dados como:

- Microsoft Open Database Connectivity (ODBC): a Microsoft criou a conectividade aberta a banco de dados (ODBC) com interface de aplicação de programas (API) para permitir aos aplicativos do Windows a comunicação de maneira uniforme com bancos de dados relacionais diferenciados. ODBC-API da Microsoft é provavelmente o programa de interface mais amplamente utilizado para acessar banco de dados relacionais. Ele oferece a possibilidade de se conectar a quase todos os bancos de dados e em quase todas as plataformas.
- Sun's Java Database Connectivity (JDBC): JDBC é o API do Java para a comunicação com bancos de dados. Como os *drivers* do JDBC não foram tão implementados como o ODBC, a Sun criou um elo entre ambos os drivers que permite aos programadores de Java acessar qualquer fonte de dados ODBC através do JDBC-API. Esta ligação foi feita para alavancar a utilização do JDBC rapidamente, fornecendo formas de acesso aos bancos de dados menos populares.

## MySQL

A base de dados mais utilizada atualmente é o MySQL (MySQL, 2004). Trata-se de um robusto servidor de banco de dados gratuito, multiusuário, multitarefa que opera com a linguagem SQL.

A conexão do cliente com o MySQL é feita por Protocolo de Controle de Transmissão/Protocolo de Internet (TCP/IP). Seu avançado sistema de segurança criptografa as senhas dos usuários através de um algoritmo semelhante ao processo de autenticação de *login* do Unix. O MySQL é um sistema de gerência da base de dados relacional, rápido, confiável e fácil de usar. Suporta diferentes plataformas (Windows, Linux, FreeBSD, Unix), API's de diversas linguagens de programação (PHP, Perl, C, C++, Java) e múltiplos processadores.

## **Access**

Access possui ferramentas para construir soluções que integram e alavancam oportunidades da Internet, melhorando o acesso e o compartilhamento de dados através da Internet e da Intranet das empresas. É um *software* que permite aos usuários selecionar e analisar dados através da interface simples e amigável do Office.

## **Oracle**

Em 1979 foi criado o Oracle, o primeiro banco de dados relacional comercial a incorporar a linguagem de acesso de dados SQL (Bobrowski, 1995). O modelo de banco de dados relacional é um modelo teórico bem definido para operar e gerenciar um banco de dados considerando a estrutura, integridade e manipulação de dados. Oracle possui alta tecnologia em segurança e portabilidade, proporcionando um ambiente propício para gerenciamento de bancos de dados robustos.

### **4.2.4 Tratamento matemático do problema**

A determinação das negociações nos leilões do simulador exigem um ferramental adequado. É, portanto, desejável a compreensão e avaliação de algumas ferramentas.

## **Matlab**

Matlab utiliza uma linguagem processual desenhada para matemática numérica, especialmente quando envolve matrizes e vetores computacionais. Inclui rotinas altamente otimizadas de fatoração de matrizes esparsas e densas. Este *software* pode ser utilizado na implementação de programas de fluxo ótimo de carga, além do código de vendas do mercado. Por não ser um *software* explicitamente desenhado para o ambiente de rede, é necessário o desenvolvimento de um protocolo próprio para a interação com os programas do Matlab (Zimmerman et al., 1998).

## Lingo

Outro *software* que pode ser utilizado para otimização dos negócios é o Lingo, que apresenta linguagem matemática de modelação. Diferentemente de outras linguagens de programação como Basic ou C, Lingo é uma linguagem não processual, ou seja, o programa se encarrega de encontrar a melhor maneira para resolver problemas especificados (Lindo, 1995).

## Excel

Excel é um *software* criado pela Microsoft utilizado para gerar planilhas de dados. Possui interface simples e amigável, reduzindo o tempo de programação. O Excel apresenta internamente um *software* otimizador (*solver*), que utiliza dados das planilhas para formular e solucionar problemas.

### 4.2.5 *Softwares* para conteúdo dinâmico

Cecchet et al. (2002) estudam mecanismos específicos para gerar conteúdo dinâmico em leilões da internet: PHP (Pré-processador de hipertexto), provedor de serviços Java (*servlets*) e Enterprise Java Beans (EJB). Para a avaliação dos mesmos, os autores utilizam *softwares* de código aberto como o servidor de rede Apache, o servidor Tomcat e o banco de dados relacional MySQL.

Em termos de programação, o número de linhas de código na implementação com Java é superior ao com implementação a partir de PHP. As ferramentas de Java *servlets* e sua segurança auxiliam na depuração do programa, necessitando, porém, de reflexões sofisticadas sobre a linguagem. EJB é simples e não requer que linhas de SQL sejam construídas, porém sua implementação requer mais linhas que Java *servlets*.

Quanto à performance, caso o banco de dados seja o gargalo, não há diferença entre PHP e Java *servlets*. Já se o servidor for o gargalo, a performance de Java *servlets* é superior à do PHP devido a possibilidade de realocação de seu provedor de serviços para a máquina contendo o banco de dados. Em todas as circunstâncias, EJB é consideravelmente mais lento que PHP e que Java *servlets*.

Tabela 4.1: Arquitetura de integração de comércio eletrônico utilizando Java Beans

Camada de Aplicação	Camada Intermediária	Protocolo de Comunicação
Interface com usuário	Java <i>servlets</i>	HTTPS
Servidor da Web	Apache	HTTPS
Servidor de aplicação	Tomcat	AJP12
Servidor	EJB	RMI
Banco de dados	MySQL	JDBC

A tabela 4.1 mostra um exemplo de arquitetura proposto por Cecchet et al. (2002). Primeiramente, um cliente solicita o servidor HTTPS, que por sua vez invoca o provedor de serviço utilizando um protocolo bem definido (AJP12). O provedor de serviço consulta o servidor EJB (utilizando um Método de Invocação Remoto - RMI) para recuperar a informação do banco de dados (através do JDBC) necessária para gerar uma resposta em HTML.

## PHP

PHP (Pré-processador de hipertexto) é uma linguagem de *script* livre (código aberto) de uso geral, muito utilizada e especialmente guarnecida para o desenvolvimento de aplicações *web* embutíveis dentro do HTML. O que distingue o PHP do Javascript no lado do cliente é que seu código é executado no servidor. Este *software* pode coletar dados de formulários, gerar páginas com conteúdo dinâmico ou enviar e receber *cookies*. PHP é suportado pela maioria dos servidores *web* atuais, incluindo Apache. Talvez a mais forte e mais significativa característica do PHP é seu suporte a uma ampla variedade de banco de dados (Bakken et al., 2000).

## Java *servlets*

*Servlets* são programas executados no servidor Web, agindo como elo entre uma requisição provinda de um navegador ou outro cliente HTTP e bancos de dados ou aplicativos do

servidor HTTP (Hall, 2000). Seu acesso ao banco de dados pode ser realizado através de uma interface JDBC, suportado pelos principais bancos de dados. Hall (2000) afirma que Java *servlets* são programas eficientes, poderosos, portáteis, seguros, gratuitos e de fácil utilização.

### **Enterprise Java Beans**

EJB é um componente de arquitetura do lado do servidor que permite o desenvolvimento de aplicações em Java de forma distribuída, transacional, segura e portátil (EJB, 2004). Permite a criação de componentes reutilizáveis e a construção de aplicações com estes componentes.

A tecnologia do EJB complementa e estende a arquitetura Java. Ela provê um ambiente de servidor de aplicativos que controla serviços do sistema. Sua arquitetura suporta distribuição utilizando Método de Invocação Remota (RMI) do Java.

### **4.2.6 Servidores**

Para possibilitar o acesso de agentes no simulador através de uma *intranet* é fundamental a aplicação de servidores.

#### **Apache**

Apache tem sido o mais popular servidor de internet desde abril de 1996. Segundo levantamento realizado pela Netcraft Web Server (Netcraft, 2004), cerca de 65% dos *sites* da internet utilizam Apache. Além disso, Apache é um *software* gratuito e aberto.

O projeto do servidor HTTP Apache é um esforço para desenvolver e manter um servidor HTTP de código aberto para sistemas modernos de operação incluindo UNIX e Windows NT. O objetivo deste projeto é prover um servidor seguro, eficiente e extensivo que possibilite serviços HTTP compatíveis ao padrão atual.

## Tomcat

Tomcat (Tomcat, 2004) é um servidor baseado na plataforma Java que suporta especificações de *servlets* e JSP (JavaServer Pages). Foi desenvolvido no projeto Jakarta da Fundação do Software Apache, sendo um programa gratuito e de código aberto. Tomcat pode atuar como um servidor TCP/IP e se comunicar com o Apache. Nesta configuração, Tomcat assume as requisições de páginas dinâmicas por não ser tão rápido, robusto e flexível quanto o Apache em páginas estáticas. Além disso, Tomcat pode trabalhar desacompanhado como servidor de HTTP.

## 4.3 Análise de requisitos

Para a consecução deste simulador de leilão *on-line* são imprescindíveis algumas condições e requisitos. Primeiramente é necessário que o *software* apresente características de simulação, aderindo ao seu objetivo. Por ser um ambiente criado para interação com agentes em uma rede, deve também expor qualidade e segurança aos usuários.

### 4.3.1 Simulação

A reestruturação do mercado de energia elétrica favoreceu o surgimento de competição entre agentes, o que tornou necessária a realização de testes experimentais para as diversas estruturas de mercado propostas. Desta forma, a simulação deste mercado se torna imprescindível.

Simulação é o processo de desenvolvimento de um modelo que represente um sistema real e conduzir experimentos neste modelo objetivando entender seu comportamento e/ou definir estratégias (considerando os limites impostos) para sua operação (Shannon, 1975).

Uma vantagem da simulação é sua aplicação no treinamento e educação de agentes. O desenvolvimento e a utilização de um modelo de simulação permite a um agente analisar e avaliar lances no sistema.

A maior parte dos problemas reais com elementos estocásticos não pode ser representada

precisamente através de modelos matemáticos analíticos. Nestes casos, a simulação é uma das poucas formas possíveis de pesquisa. Esta ferramenta permite o estudo de eventos de longa duração em um período curto de tempo, ou mesmo um estudo detalhado de um sistema em um período estendido. Além disso, formatos alternativos do sistema podem ser comparados através da simulação para avaliar a adequação aos requisitos necessários (Law e Kelton, 1982).

Para esta dissertação, a simulação deve ser efetuada objetivando o treinamento de agentes, bem como o estudo de estratégias de atuação no mercado de energia elétrica.

### 4.3.2 Qualidade

A habilidade de dar lances por produtos ou contratos através da internet revolucionou a maneira como empresas realizam negócios. Um desafio da criação do comércio eletrônico é entender às necessidades dos negociadores e desenvolver um mecanismo satisfatório para estes. Uma empresa com *site* de baixa qualidade pode passar uma imagem negativa aos consumidores que, por sua vez, podem preferir o serviço de outra empresa, piorando sua posição no mercado.

Comumente se define a qualidade de um serviço como o nível que este atende às expectativas do consumidor. Desta forma, ao projetar um *site* que se adapte às necessidades do clientes, é possível ganhar mercado e impor sua marca (Barnes e Vidgen, 2002). Para Barnes e Vidgen (2001), a qualidade de um *site* pode ser mensurada a partir de algumas dimensões tais como a informação disponível, a interação com os usuários e seu desenho (Tabela 4.2).

Tabela 4.2: Dimensões da qualidade de um *site*

Dimensão de qualidade	Indicadores
Informação	Pontualidade, precisão, confiabilidade das informações
Interação	Reputação, segurança em transações e no armazenamento de dados, confiabilidade de entrega
Desenho	Facilidade de navegação, atratividade aparente, percepção de competência do projeto

Como o simulador proposto deve representar leilões reais, é necessária a criação de um modelo capaz de representar a realidade com fidelidade. Para a construção de um modelo, Araújo (1988) afirma que deve possuir as seguintes características:

- **Completude:** modelo deve conter aspectos relevantes à formulação do problema de modo a permitir que um problema real seja abordado de maneira próxima da realidade;
- **Operacionalidade:** modelo deve se basear em fatores estritamente necessários para a determinação de soluções, evitando elementos supérfluos;
- **Transparência:** o funcionamento e as hipóteses do modelo devem ser claras aos usuários;
- **Flexibilidade:** o modelo deve permitir a simulação de diversas situações de operacionalidade previstas;
- **Robustez:** os resultados das simulações não podem apresentar distorções substanciais quando pequenas alterações no modelo forem feitas.

Desta forma, pode-se afirmar que a preocupação com a qualidade deve ser mantida durante todo o processo de criação do *site* de leilão *on-line*.

### 4.3.3 Segurança

O desenvolvimento de leilões eletrônicos remete à criação de mecanismos de segurança, uma vez que a internet proporciona diversas formas de trapaça (Perrig et al., 2001). A segurança de um aplicativo está diretamente relacionado à sua autenticidade, confidencialidade, integridade e disponibilidade.

A política de utilização do *site* provida pelo leiloeiro e por recomendações dos vendedores determina a privacidade de dados acessíveis ao público em geral, aos compradores e vendedores registrados, ao leiloeiro e aos auditores. Mecanismos de controle de acesso são necessários para reforçar esta política, consistindo na utilização de chaves e senhas que assegurem a procedência de dados e informações confidenciais.

Também são necessários mecanismos de segurança para evitar sabotagem nas regras de leilão, nas informações ou mesmo nos dados confidenciais (Kumar e Feldman, 1998). Após a abertura do leilão, mecanismos de criptografia são necessários para assegurar que os lances não sejam adulterados ou expostos. Sua principal função é codificar as informações em trânsito visando proteger a integridade do sistema.

Segundo Perrig et al. (2001), uma das grandes desvantagens da utilização de leilões *on-line* é a necessidade de confiança no leiloeiro por parte de compradores e vendedores. Com isso, os autores propõem a criação de uma arquitetura baseada em coprocessadores de segurança programável.

## 4.4 Participantes do processo

O *site* de leilão *on-line* deve receber acesso de agentes com interesse variado, podendo este ser na compra, venda ou averiguação de informações relativas aos produtos dos leilões. Desta forma, é possível se caracterizar estes agentes em supervisor, observador, participante (comprador ou vendedor), leiloeiro ou auditor.

#### 4.4.1 Supervisor

Para que o leilão seja considerado mais confiável pelos agentes que o utilizam, é desejável a existência de um supervisor. Este agente deve ser responsável por acompanhar e supervisionar as ações do leiloeiro, garantindo a condução do leilão de acordo com seus procedimentos (MAE, 2002b). No caso de leilões de energia elétrica, a ANEEL pode se encaixar nesta posição, garantindo a os objetivos do processo.

#### 4.4.2 Observador

Observador é o agente que navega pelo *site* em busca de informações relativas ao funcionamento e características dos leilões, dos negócios ocorridos ou mesmo dos participantes envolvidos. São considerados proponentes compradores ou vendedores e, desta forma, deve ser disponibilizada toda a informação não confidencial necessária para que estes possam formar estratégias de participação no leilão.

#### 4.4.3 Participantes

A participação em leilões *on-line* é feita por agentes vendedores e compradores através da inserção de *login* e senha cadastrados. O papel destes agentes difere de acordo com o tipo de leilão usado. No caso do leilão de venda e/ou no leilão de excedentes, o vendedor interessado em leiloar lotes de energia deve especificá-los e impor ou aceitar as restrições necessárias à factibilidade do leilão. A especificação do produto consiste essencialmente no número de lotes ofertados e suas características (potências mínima e máxima, duração do contrato, dentre outras), além do preço de reserva e período de atividade do leilão.

Consumidores interessados em comprar os produtos oferecidos podem visitar o *site* do leilão para avaliação. Caso haja interesse na compra destes, deve ser preenchido um formulário de participação com os termos de compromisso. No caso de leilão de lotes de energia, estes agentes podem dar lances de quantidade e/ou preço, podendo ser informados da quantidade ofertada e do preço corrente para o lance. Após dar o lance, o comprador deve ficar sabendo de sua situação (ativo ou inativo). Caso passe a ser um cliente inativo, o

comprador recebe uma notificação (via *e-mail*) sendo informado do lance mínimo para sua reaceitação no leilão. Desta forma, ele pode optar por dar um lance ativo como qualquer outro interessado (Eso, 2001).

Segundo Bapna et al. (2001), existem três tipos de compradores no caso de leilão aberto:

- **Avaliadores:** Agentes que já sabem seu valor de oportunidade e, com isso, dão lances precoces (no início do leilão) com valores acima do mínimo necessário. São raros em leilões que envolvem custos de participação.
- **Participantes:** Possuem uma utilidade para o processo de participação do leilão. Dão lances iniciais iguais ao lance mínimo requerido e, durante o leilão, geram lances equivalentes ao mínimo requerido.
- **Oportunistas:** Buscam realizar barganha, provendo lances iguais ao lance mínimo pouco antes do encerramento do leilão.

Portanto deve haver uma preocupação com estes tipos de compradores, buscando evitar a presença de oportunistas e incentivando a participação de avaliadores e participantes.

Já no leilão de compra, o papel dos compradores e vendedores é invertido. Compradores informam os produtos que desejam adquirir anteriormente à realização do leilão. Durante o leilão, vendedores competem para atender à demanda em um ambiente de leilão aberto descendente.

Para o caso do leilão de certificados, compradores e vendedores especificam lances de preço e quantidade de energia elétrica em envelope fechado simultaneamente. Posteriormente o leiloeiro otimiza o leilão, explicitando os agentes que realizaram negócio e o preço de fechamento.

#### 4.4.4 Leiloeiro

O leiloeiro é encarregado de manter a reputação de seu *site* devendo, para tal, determinar ou seguir a política de participação para vendedores, compradores e observadores. As regras do leilão podem ser definidas pelo leiloeiro ou negociadas entre agentes interessados,

podendo ser diferenciadas de acordo com o objetivo a que se propõem (redução de tarifa, maximização da quantidade negociada, entre outros). Suas principais funções em um leilão *on-line* são: coletar as informações dos participantes relativas às características dos produtos; disponibilizar estas informações; abrir o leilão; receber, validar e responder aos lances; otimizar o leilão; enviar relatório a perdedores (agentes que tiveram seu lance invalidado pela otimização); encerrar o leilão; anunciar os vencedores; e enviar o relatório de negócios ocorridos (Figura 4.4). Também é responsável pela manutenção e funcionamento do *site* de leilão *on-line*, devendo manter o sistema em perfeito funcionamento antes e durante o transcorrer do leilão (MAE, 2002c). Seu acesso ao ambiente restrito ao leiloeiro do *site* provém de *login* e senha privilegiados e únicos.

```

begin
  coleta dados iniciais{ $t, Q, P_r, \dots$  };
  begin (inicia leilão)
    repeat
      recebe lance ( $P_i, Q_i$ );
      valida lance ( $P_i, Q_i$ );
      otimiza leilão;
      envia situação do lance para agente  $i$ ;
      envia relatório a perdedores;
      disponibiliza informações;
    until  $t = 0$ 
      otimiza leilão;
      envia relatório a perdedores;
      disponibiliza informações;
      anuncia vencedores;
      envia relatório de negócios;
    end (encerra leilão)
  end

```

Figura 4.4: Algoritmo esquemático de funcionamento do *site* proposto

Bapna et al. (2001) determinaram, através de um modelo de regressão multivariável, quatro variáveis de decisão que têm influência sobre a receita de um leilão, como mostra a tabela 4.3.

Tabela 4.3: Variáveis de decisão e sua influência na receita de leilões

Variável de decisão	Influência
Tamanho do lote	Baixa
Preço de reserva	Marginal
Amplitude dos lances finais	Marginal
Incremento do lance	Alta

Intuitivamente, após organizar os lances em ordem decrescente, a redução da quantidade ofertada evita que o produto seja vendido para consumidores de baixa valoração para o produto. Isso cria o potencial de capturar novos clientes para os próximos leilões. Porém, segundo o autor, o tamanho do lote não tem a importância que usualmente se dá a esta característica. Bapna et al. (2001) acreditam que grande parte dos consumidores possui informação a respeito de alternativas do produto e seu preço. Isso faz com que a avaliação dos consumidores se baseie em torno do preço médio de mercado, neutralizando parte do efeito do tamanho do lote.

A maior parte dos leiloeiros prefere impor preços baixos de reserva para atrair proponentes compradores para seus produtos ao risco de vendê-los a um preço inferior ao seu custo. A decisão sobre o valor desta variável depende do produto a ser leiloado e das características dos participantes do leilão. No caso de leilões de lotes de energia elétrica o leiloeiro não precisa utilizar valores extremamente baixos para o preço de reserva uma vez que os clientes são poucos e, em sua maior parte, participam do leilão com a intenção de comprar lotes, o que tende a gerar lances competitivos.

A amplitude (grandeza) dos lances finais tem uma correlação com o incremento dos lances (Bapna et al., 2001). Este, por sua vez, pode ser contra-produtivo se for excessivamente baixo ou alto. O retorno esperado cresce com o incremento desta variável até um certo ponto, a partir do qual este retorno começa a decair. Assim, o leiloeiro deve realizar uma otimização visando buscar o valor associado à máxima receita possível.

#### 4.4.5 Auditor

O auditor do leilão é um agente independente responsável por testemunhar e supervisionar o processo de condução do leilão de modo a garantir que os procedimentos do leilão estejam sendo seguidos. No decorrer do processo licitatório, tem acesso à todas as informações necessárias para o bom desempenho de suas funções. Seu acesso ao ambiente restrito ao auditor do *site* provém de *login* e senha privilegiados e únicos.

# Capítulo 5

## Desenvolvimento do simulador

No capítulo anterior foram mencionados os *softwares* aplicáveis na construção do simulador de leilão *on-line* proposto. Este levantamento referiu-se aos *softwares* de comunicação entre agentes, armazenamento de dados, tratamento matemático do problema, conteúdo dinâmico e servidores. Além disso, foi averiguada a experiência de outros pesquisadores relativa ao desenvolvimento de mecanismos de negociação para comércio eletrônico. O presente capítulo trata do desenvolvimento do simulador, mencionando sua especificação e a forma de interação entre os programas. Para a determinação dos resultados referentes aos formatos de leilão propostos (leilões de venda, de compra, de excedentes e de certificados), são expostas formulações matemáticas responsáveis pela caracterização das negociações provenientes dos lances dos agentes participantes.

### 5.1 Especificação do *software*

A experiência de outros autores aliada ao estudo das tecnologias com potencial de utilização no desenvolvimento do simulador levaram à especificação do *software*. Esta especificação levou em consideração fatores como a conveniência (custo de aquisição), aplicabilidade, versatilidade e compatibilidade. A tabela abaixo mostra a arquitetura proposta para a construção do simulador (Tabela 5.1).

Tabela 5.1: Arquitetura de integração de comércio eletrônico proposta

Camada de Aplicação	Camada Intermediária	Protocolo de Comunicação
Interface com usuário	Java <i>serulets</i>	HTTPS
Servidor da <i>Web</i>	Apache	HTTPS
Servidor JSP	Tomcat	AJP12
Provedor de Servidor	JavaBeans	RMI
Banco de dados	MySQL	JDBC

A otimização dos dados armazenados no banco de dados MySQL é realizada pelo *software* Lingo 8.0. Isso permite determinar os resultados do leilão, que incluem a receita do leiloeiro, a quantidade de lotes negociados entre agentes, o preço de fechamento e o volume transacionado para cada produto. Para a navegação no *site* é utilizada a tecnologia *Java Server Pages* (JSP), responsável pela comunicação entre a página e o banco de dados.

Para possibilitar a instalação dos pacotes referentes à execução do simulador proposto é necessária o uso de um equipamento adequado conectado à rede, cujas configurações para servidor e cliente podem ser observadas nas tabelas 5.2 e 5.3 respectivamente.

Tabela 5.2: Configuração recomendada para o servidor

Espaço de disco <sup>1</sup>	200 Mbytes
Memória RAM	256 Mbytes
Processador	P4/2.0 GHz
Sistema operacional	Windows XP
Navegador	IE 6.0 ou Netscape 7.0

<sup>1</sup> mínimo necessário para instalação

Tabela 5.3: Configuração recomendada para o cliente

Espaço de disco <sup>1</sup>	200 Mbytes
Memória RAM	128 Mbytes
Processador	PII/300 MHz
Sistema operacional	Windows XP
Navegador	IE 6.0 ou Netscape 7.0

<sup>1</sup> mínimo necessário para instalação

Após verificar as propriedades mencionadas na máquina a ser usada como servidor, torna-se imprescindível a instalação de alguns *softwares*, como demonstra a tabela 5.4. Estes permitem a execução e alteração do simulador pelos agentes interessados.

Tabela 5.4: Programas a serem instalados no servidor do simulador

Programa	Utilidade	Licença
Java 2SDK 1.4.5	Suporte ao desenvolvimento	<i>Freeware</i>
Tomcat 5.0	Servidor JSP	<i>Freeware</i>
Apache 2.0	Servidor da <i>Web</i>	<i>Freeware</i>
Netbeans 3.5	Alteração no código fonte do programa	<i>Freeware</i>
Lingo 8.0	Otimização dos lances dos leilões	<i>Shareware</i>
MySQL 4.0	Armazenamento de dados	<i>Freeware</i>
MySQL Control Center 0.9	Edição do banco de dados	<i>Freeware</i>
MySQL Connector Java 3.0	Conexão do banco de dados com o Java	<i>Freeware</i>

A estrutura de dados utilizada no desenvolvimento do simulador proposto é mencionada no *apêndice A*.

## 5.2 Navegação no *site* do leilão *on-line*

O *site* de leilão *on-line* proposto deve interagir com todos os tipos de visitantes de maneira direta e simples. Isso significa dizer que deve ser dado um tratamento especial para cada tipo de agente de acordo com suas necessidades. Agentes que participam diretamente dos leilões devem ter acesso a conteúdos restritos enquanto observadores devem poder navegar pelas páginas de conteúdo público. Destarte, propôs-se uma configuração para a navegação no *site*, como demonstra a figura 5.1.

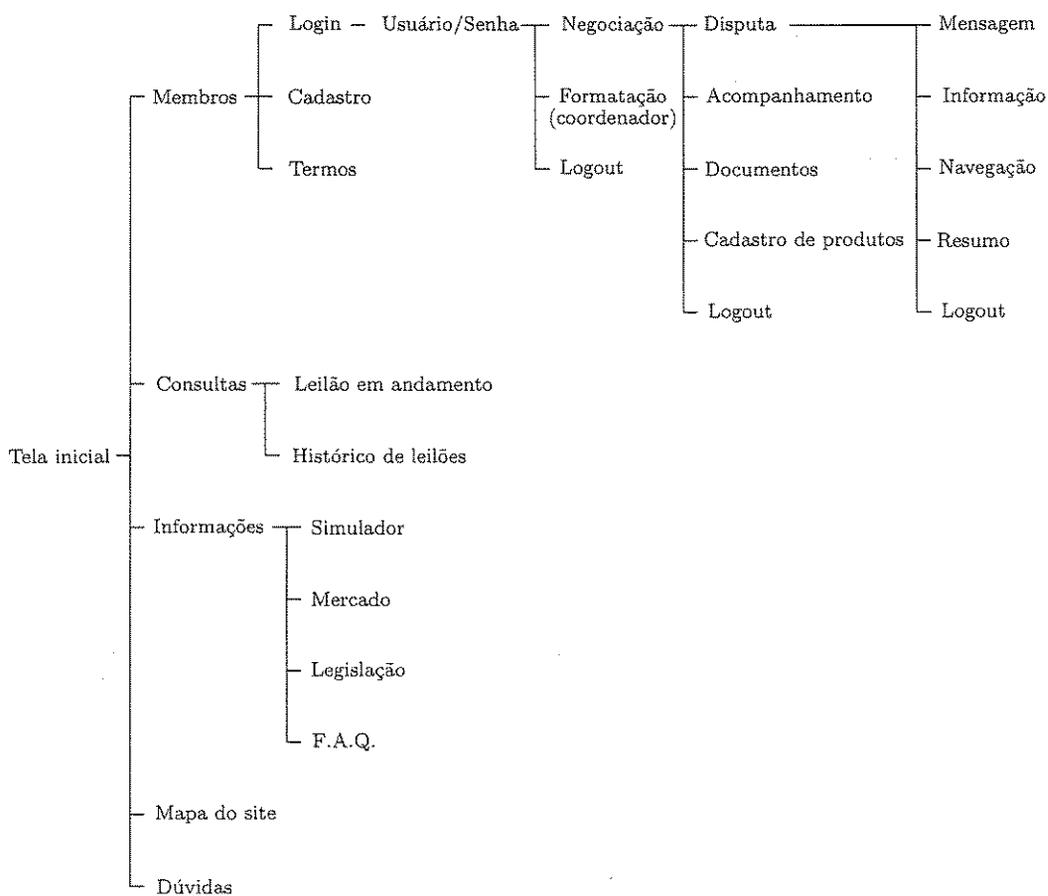


Figura 5.1: Mapa do *site* do leilão proposto

A partir da tela inicial do *site* proposto é possível navegar pelas telas: membros, consultas, informações, mapa do *site* e dúvidas. Este mapa do *site* proposto foi baseado no sistema

desenvolvido pelo Banco do Brasil para a realização do leilão de energia velha realizado no dia 19 de setembro de 2002 (MAE, 2002a).

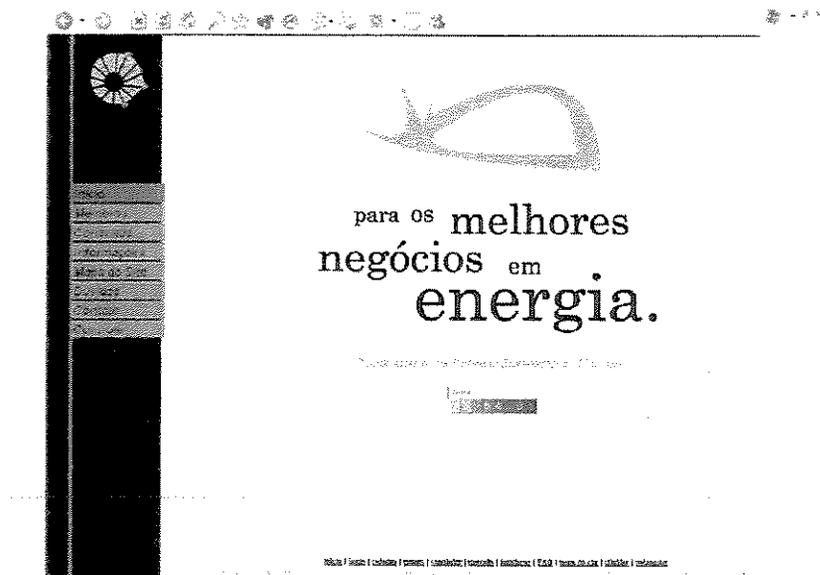


Figura 5.2: Tela inicial

### 5.2.1 Membros

Agentes podem acessar a tela dos membros caso sejam ou pretendam fazer parte do grupo de membros do *site*. Caso desejem fazer parte deste grupo, podem avaliar os termos de compromisso para participantes do leilão (compradores e vendedores) e, então, realizar o cadastro (Figura 5.3). Para a efetivação do cadastro de participantes, é necessária a explicitação do código MAE obtido após aprovação de participação pelo órgão competente. Deve também informar dois representantes com respectivos cadastros de pessoa física (CPF) para validação e documentação do agente, bem como chave e senha para participação.

Figura 5.3: Cadastro de agentes

Quando membro do *site*, o agente pode realizar seu *login* no sistema (Figura 5.4) e negociar lotes de energia elétrica de um produto de determinado leilão.

Figura 5.4: *Login*

Somente membros têm acesso a informações que requisitam a chave e a senha do usuário, impedindo que usuários não identificados participem de processos restritos que necessitam de segurança. Membros podem ser qualificados como participantes, auditor ou leiloeiro, cada qual possuindo acesso a determinadas telas. A formatação do mecanismo de leilão a ser utilizado é restrita ao leiloeiro (Figura 5.5).

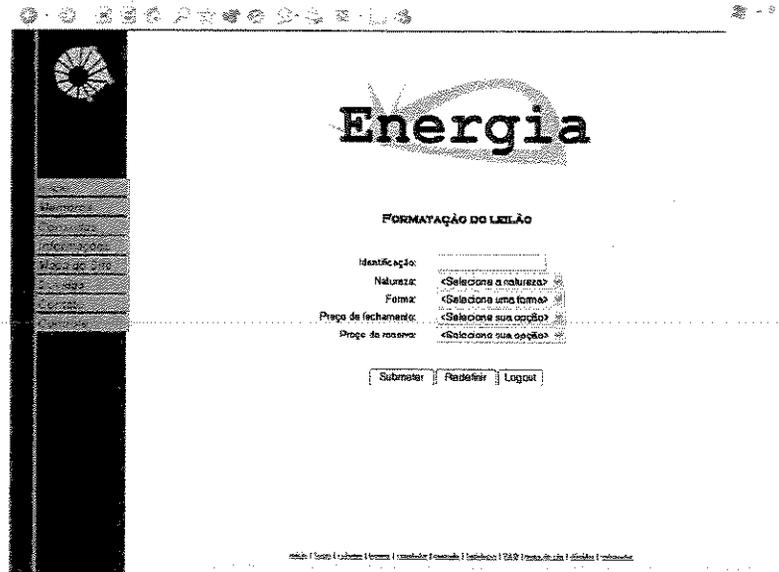


Figura 5.5: Formatação do leilão

Ao entrar no ambiente de negociação, o participante pode então entrar nas telas de:

- *disputa*: o agente, ao entrar na tela de disputa, pode participar ativamente dos leilões dando lances (Figura 5.6), enviando e/ou recebendo mensagens. Pode ainda obter informações detalhadas a respeito dos leilões em andamento e seus produtos. É necessária a confirmação do lance para que o mesmo seja enviado.

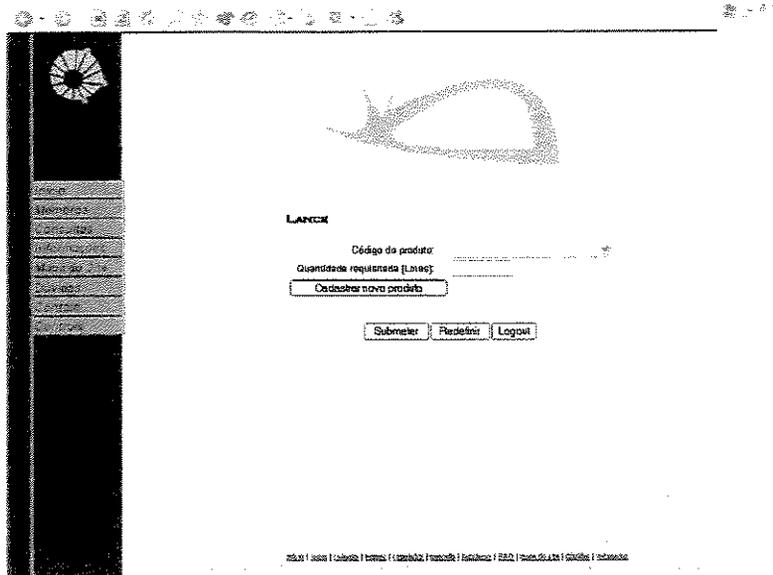


Figura 5.6: Efetivação de lances para produto de um determinado leilão

- *acompanhamento*: nesta tela é feito o acompanhamento dos leilões em andamento. São apresentadas informações relativas ao formato do leilão, seus produtos e prazos, além do responsável pelo leilão.
- *documentos*: aqui são fornecidos os documentos referentes aos leilões, indo desde os manuais e contratos de participação até os documentos elaborados pelos vendedores/compradores referentes aos produtos ofertados/demandados.
- *cadastro de produtos*:<sup>1</sup> os produtos a serem comprados ou vendidos são cadastrados nesta tela (Figura 5.7). Na execução deste processo, o participante deve selecionar o leilão, dentre os previamente definidos pelo leiloeiro, no qual deseja participar. Devem ser especificados a natureza do produto (oferta ou demanda), a empresa responsável, o fator de restrição para lances do mesmo grupo, as potências máxima e mínima associadas, o submercado a que se destina e o número de lotes a ser leiloado referente a cada um dos preços de reserva.

---

<sup>1</sup>Acesso restrito ao leiloeiro

**Cadastro de produtos**

**CADASTRO DE PRODUTOS**

**Identificação**

Código de leilão:

Natureza do produto:

Potência máx. (MW):

Potência mín. (MW):

Potência de restrição (MW):

Submercado:

Preço:

**Extensivos**

Preço médio (R\$)	1	2	3	4	5
Lote (Lotes)					

[Início](#) | [Ajuda](#) | [Contato](#) | [Sobre](#) | [Política de Privacidade](#) | [Termos de Uso](#) | [FAQ](#) | [Sua Conta](#) | [Ajuda](#) | [Feedback](#)

Figura 5.7: Cadastro de produtos

### 5.2.2 Consultas

A tela de consultas possibilita ao usuário averiguar informações relativas à leilões em andamento e a leilões anteriores. É possível consultar dados disponibilizados pelo leiloeiro para o público geral, sendo estas organizadas da maneira mais adequada segundo o leiloeiro. No caso de leilões em andamento, pode haver uma protelação na disponibilização dos dados. Já no histórico de leilões, podem ser visualizadas as negociações de acordo com o submercado ou com o prazo de duração do contrato.

### 5.2.3 Informações

Ao acessar a tela de informações, o usuário pode selecionar o tipo de informações desejado. São agrupadas de forma a facilitar a navegação no *site* em informações relativas ao:

- *simulador*: mostra as características construtivas e de utilização do simulador. Descreve os objetivos deste mecanismo, bem como o papel de cada agente na formação de preços;

- *mercado*: caracteriza o mercado de energia elétrica objetivando informar os agentes e, assim, evitando participação de agentes com pensamento díspar da realidade;
- *legislação*: apresenta a legislação vigente necessária à compreensão do mecanismo construído e do mercado.
- *dúvidas frequentes*: evidencia os questionamentos realizados com maior frequência e sua resposta, reduzindo o tempo de resposta do interlocutor do *site* para com os agentes.

### 5.2.4 Mapa do *site*

O mapa do *site* é um guia dos endereços que podem ser acessados através do *site*, fornecendo atalhos e dando informações relativas à seqüência de acesso ao endereço desejado (Figura 5.8).

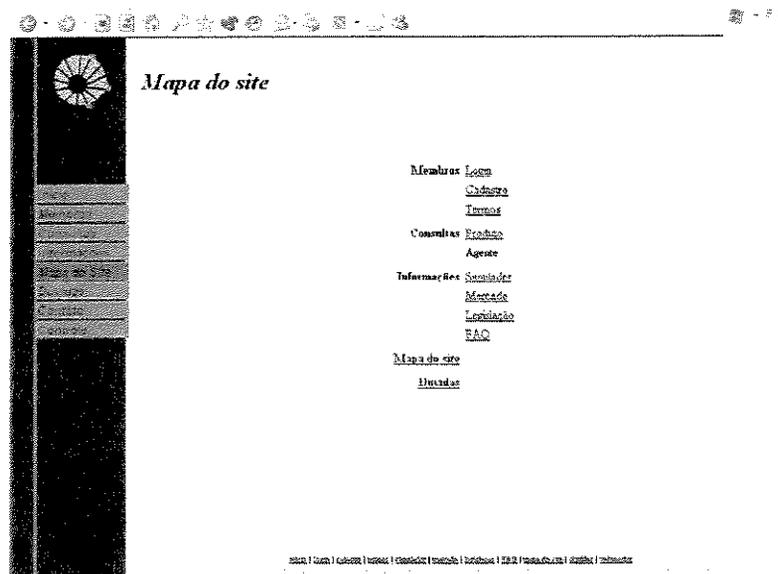


Figura 5.8: Mapa do *site*

### 5.2.5 Dúvidas

Na seção de dúvidas (Figura 5.9), agentes inserem suas dúvidas, sugestões ou reclamações a respeito do leilão. O interlocutor do *site* deve buscar responder às dúvidas e usar as críticas e

sugestões no desenvolvimento contínuo dos processos de compra e venda. Dúvidas realizadas com maior frequência passam a fazer parte das informações relativas à dúvidas frequentes.

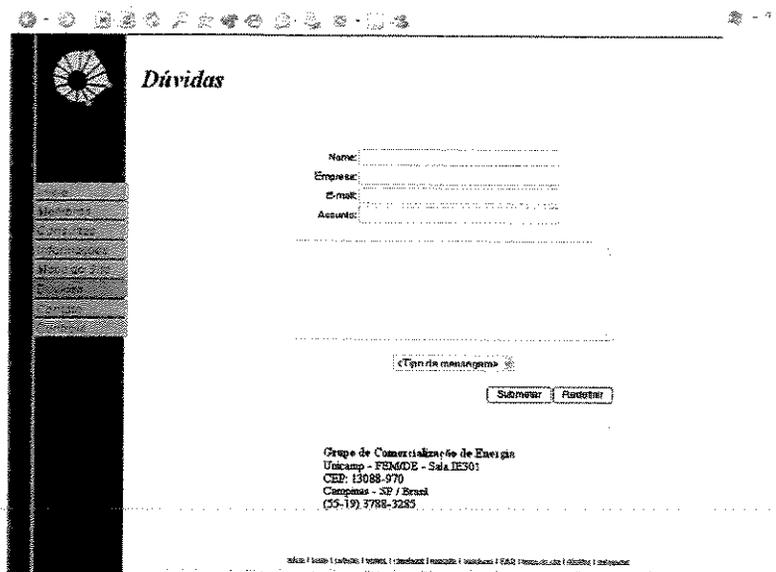


Figura 5.9: Dúvidas, reclamações e sugestões

### 5.3 Otimização do simulador

Para determinação dos resultados de um leilão de forma rápida e eficaz se faz necessária a aplicação de conceitos de otimização no simulador. Foram então criados modelos e algoritmos responsáveis pelo equacionamento e solução das variáveis de negociação dos leilões utilizando propriedades de programação inteira mista.

Estes modelos são responsáveis pela determinação dos agentes que realizam negócios e a quantidade negociada entre as partes. Para o caso do leilão de venda (ascendente) anuncia a disposição a pagar revelada dos compradores de energia elétrica sob o ponto de vista do leiloeiro (Equação 5.1). Já no caso do leilão de compra (descendente) informa também o custo revelado da geração de energia elétrica sob o ponto de vista do leiloeiro (Equação 5.8). Para os leilões de excedentes e certificados (Equações 5.17 e 5.29 respectivamente), o *software* determina o excedente monetário advindo dos lances dos agentes.

O algoritmo do simulador de leilão *on-line* é mostrado na figura 5.10. Este é o algoritmo básico tanto para todos os mecanismos de leilão estudados, diferindo apenas no que se refere à otimização do leilão, onde cada formato possui uma formulação específica.

```

begin (algoritmo do site)
  dados iniciais{ $t, P_{r1}, Q_1, \dots, P_{r5}, Q_5$ };
  for  $j = 1$  to 5 do
    begin (inicia leilão)
       $P_r = P_{rj}$ ;
      while  $\sum_{k=1}^i Q_k \leq \sum_{l=1}^j Q_l$  and  $t > 0$  do
        begin
          recebe lance ( $Q_i$ );
          valida lance( $Q_i$ );
          otimiza leilão;
          envia situação do lance para agente  $i$ ;
          envia relatório a perdedores;
          disponibiliza informações;
        end
      end (encerra leilão)
      otimiza leilão;
      determina quantidade negociada;
      calcula preço de fechamento;
      envia relatório a perdedores;
      disponibiliza informações;
      anuncia vencedores;
      envia relatório de negócios;
    end (algoritmo do site)
  
```

Figura 5.10: Algoritmo de funcionamento do *site* proposto

### 5.3.1 Leilão de venda

A lei 10.438 de maio de 2002 (Congresso Nacional, 2002a) tornou obrigatória a realização de leilões públicos para a venda da energia das empresas geradoras liberada dos contratos

iniciais. Estes contratos se extinguem na proporção de 25% ao ano a partir de dezembro de 2002. As empresas que não negociarem sua energia liberada devem vender a mesma no âmbito do MAE.

Podem participar como compradores neste leilão distribuidoras, comercializadoras e consumidores livres. Os contratos de compra e venda de energia elétrica contemplam períodos de suprimento de 2, 4 e 6 anos, diferenciando-se também quanto ao local de entrega, potências máxima e mínima associadas, e vendedor (MAE, 2002a).

### Sistemática do leilão

Antes do início do leilão, os agentes vendedores fornecem até 5 patamares de preço de reserva e a quantidade ofertada referente aos mesmos (Figura 5.11). Para cada produto, o coordenador do leilão deve especificar valor incremental de preço. Desta forma, quando toda a quantidade ofertada for demandada, o leiloeiro eleva o preço para os próximos lances através do valor incremental. Caso o novo valor de preço alcance o patamar do preço de reserva seguinte e a quantidade ofertada seja absorvida pelo mercado, a quantidade referente a este preço de reserva é acrescida ao montante previamente leiloado. Os lances dos proponentes compradores se restringem ao valor máximo de 70% da quantidade ofertada pelo vendedor em casos onde a oferta supera 100 lotes.

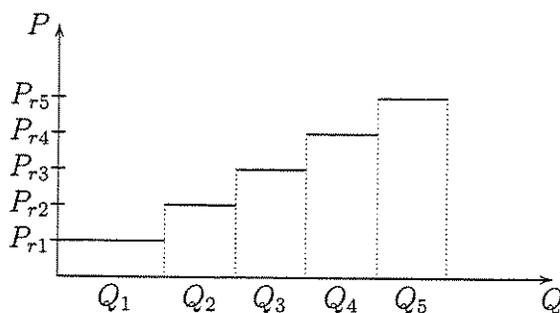


Figura 5.11: Lance das geradoras em patamares de preços de reserva

Agentes que realizam lances anteriormente têm a preferência na negociação para lances relativos ao mesmo preço. Em caso de lances realizados em diferentes patamares de preço, têm preferência os agentes que deram lances no mais alto patamar de preço. O leilão se

encerra quando o tempo determinado pelo leiloeiro se esgotar. Para maiores informações sobre regras e sistemática do leilão, consultar o Apêndice B e/ou o edital do leilão de venda (MAE, 2002a).

### Formulação

A função objetivo da equação 5.1 maximiza a disposição a pagar revelada dos compradores de energia elétrica sob o ponto de vista do leiloeiro, gerando o conjunto de compradores ativos  $A$  ( $A = \{P_i\}$  para  $s_i = 1$ ), ou seja, compradores que realizam negócio. O segundo termo da equação 5.1 ( $-\varepsilon i s_i q_i$ ) é responsável por dar preferência, em caso de lances de preço semelhantes, aos lances anteriormente realizados. A quantidade negociada não pode exceder a quantidade ofertada (Equação 5.2). Além disso, a quantidade negociada entre as partes deve ser igual ou inferior ao fator de restrição multiplicado pela quantidade ofertada (Equação 5.3). Para que o agente tenha um lance ativo, é necessário que seu lance de preço atenda ao preço corrente (Equação 5.4). Cada proponente comprador pode transacionar quantidades iguais ou inferiores ao seu lance (Equação 5.5), podendo ser caracterizado como ativo ou inativo (Equação 5.6).

$$\max \sum_{i=1}^n (P_i q_i - \varepsilon i s_i q_i), \quad (5.1)$$

$$\text{s.a.} \quad \sum_{i=1}^n q_i \leq Q, \quad (5.2)$$

$$0 \leq q_i \leq f_r Q, \quad i = 1 \dots n, \quad (5.3)$$

$$P_i \geq s_i P_c, \quad i = 1 \dots n, \quad (5.4)$$

$$q_i \leq Q_i s_i, \quad i = 1 \dots n, \quad (5.5)$$

$$s_i \in \{0, 1\}, \quad i = 1 \dots n, \quad (5.6)$$

onde:

$i$  índice relativo ao lance dos agentes compradores;

$P_c$  preço corrente;

$Q$  quantidade ofertada de lotes;  
 $P_i$  lance de preço do comprador  $i$ ;  
 $Q_i$  lance de quantidade de lotes do comprador  $i$ ;  
 $q_i$  lotes negociados entre ofertante e comprador  $i$ ;  
 $n$  número de lances;  
 $s_i$  situação do comprador  $i$  - inativo/ativo;  
 $f_r$  fator de restrição para lances de quantidade;  
 $\varepsilon$  valor infinitesimal;  
 $A$  conjunto de compradores ativos.

Após esta avaliação, é necessária a determinação do novo preço corrente do leilão ( $P_c$ ) a ser informado no *site*. Para isso, é necessário resolver a busca dada pela equação 5.7. Para encontrar a solução ótima desta busca, é indispensável que o agente faça parte do conjunto  $A$ , ou seja, seu lance deve ter sido aceito na otimização anterior.

$$P_c = \text{Min } P_i : P_i \in \{A\}. \quad (5.7)$$

Para maiores informações a respeito da formulação utilizada no simulador consultar o Apêndice C.

### 5.3.2 Leilão de compra

O leilão mensal de compra teve início em 31 de julho de 2003, devendo se estender por doze meses (MAE, 2003b). Este processo tem por finalidade criar um mecanismo competitivo para que as distribuidoras e comercializadoras adquiram lotes de energia elétrica dos proponentes vendedores.

Os contratos de compra e venda de energia elétrica contemplam períodos de suprimento de 6 meses, 9 meses, 1 ano e até dezembro de 2004. Estes também se diferenciam pelo prazo

de início de suprimento (30 ou 60 dias), submercado, tipo de lote de energia (base ou flexível) e comprador.

### Sistemática do leilão

O funcionamento deste leilão é semelhante ao do leilão de venda. Antes do início do leilão, os agentes compradores fornecem até 5 patamares de preço de reserva e a quantidade ofertada referente aos mesmos (Figura 5.12). Para cada produto, o coordenador do leilão deve especificar valor decremental de preço. Desta forma, quando toda a quantidade demandada for ofertada, o leiloeiro reduz o preço para os próximos lances através do valor decremental. Caso o novo valor de preço alcance o patamar do preço de reserva seguinte e a quantidade ofertada seja absorvida pelo mercado, a quantidade referente a este preço de reserva é acrescida ao montante previamente leiloado. Os lances dos proponentes vendedores se restringem ao valor máximo de 70% da quantidade demandada pelo comprador em casos onde a demanda supera 100 lotes.

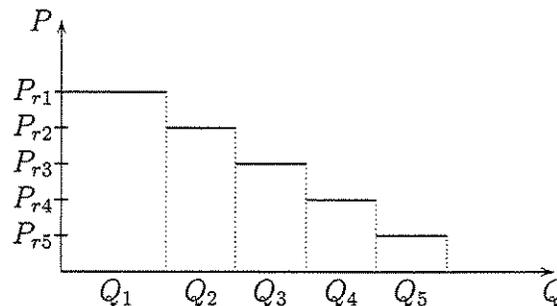


Figura 5.12: Lance das distribuidoras em patamares de preços de reserva

Agentes que realizam lances anteriormente têm a preferência na negociação para lances relativos ao mesmo preço. Em caso de lances realizados em diferentes patamares de preço, têm preferência os agentes que deram lances no mais baixo patamar de preço. O leilão se encerra quando o tempo determinado pelo leiloeiro se esgotar. Para maiores informações sobre regras e sistemática do leilão, consultar o Apêndice B e/ou o edital do leilão de compra (MAE, 2003b).

## Formulação

A função objetivo da equação 5.8 minimiza o custo revelado de geração de energia elétrica sob o ponto de vista do leiloeiro, gerando o conjunto de vendedores ativos  $A$  ( $A = \{P_j\}$  para  $s_j = 1$ ), ou seja, vendedores que realizam negócio. O segundo termo da equação 5.8 ( $+\varepsilon j s_j q_j$ ) é responsável por dar preferência, em caso de lances de preço semelhantes, aos lances anteriormente realizados. Toda a quantidade negociada não pode exceder a quantidade ofertada nem tampouco a soma dos lances efetuados (Equação 5.9). Além disso, a quantidade negociada entre as partes deve ser igual ou inferior ao fator de restrição multiplicado pela quantidade ofertada (Equação 5.10). Para que o agente tenha um lance ativo, é necessário que seu lance de preço atenda ao preço corrente (Equação 5.11). Cada proponente vendedor pode transacionar quantidades iguais ou inferiores ao seu lance (Equação 5.12), podendo ser caracterizado como ativo ou inativo (Equação 5.13).

$$\min \sum_{j=1}^n (P_j q_j + \varepsilon j s_j q_j), \quad (5.8)$$

$$\text{s.a. } \sum_{i=1}^n q_j \geq \text{Min} \left( Q, \sum_{j=1}^n Q_j \right), j = 1 \dots n, \quad (5.9)$$

$$0 \leq q_j \leq f_r Q, \quad j = 1 \dots n, \quad (5.10)$$

$$P_j s_j \leq P_c, \quad j = 1 \dots n, \quad (5.11)$$

$$q_j \leq Q_j s_j, \quad j = 1 \dots n, \quad (5.12)$$

$$s_j \in \{0, 1\}, \quad j = 1 \dots n, \quad (5.13)$$

onde:

$j$  índice relativo ao lance dos agentes vendedores;

$P_c$  preço corrente;

$Q$  quantidade demandada de lotes;

$P_j$  lance de preço do vendedor  $j$ ;

$Q_j$  lance de quantidade de lotes do vendedor  $j$ ;  
 $q_j$  lotes negociados entre demandante e vendedor  $j$ ;  
 $n$  número de lances;  
 $s_j$  situação do vendedor  $j$  - inativo/ativo;  
 $f_r$  fator de restrição para lances de quantidade;  
 $\varepsilon$  valor infinitesimal;  
 $A$  conjunto de compradores ativos.

Após esta avaliação, é necessária a determinação do preço corrente do leilão ( $P_c$ ) a ser informado no *site*. Para isso, é necessário resolver a busca dada pela equação 5.14. Para encontrar a solução ótima desta busca, é indispensável que o agente faça parte do conjunto  $A$ , ou seja, seu lance deve ter sido aceito na otimização anterior.

$$P_c = \max P_j : P_j \in \{A\}. \quad (5.14)$$

Para maiores informações a respeito da formulação utilizada no simulador consultar o Apêndice C.

### 5.3.3 Leilão de excedentes

O leilão de excedentes teve início em 12 de setembro de 2003. Este processo tem por finalidade criar um mecanismo competitivo e transparente para a venda exclusiva de excedentes originados dos contratos iniciais das geradoras aos consumidores finais (MAE, 2003a).

Os contratos de compra e venda de energia elétrica contemplam períodos de suprimento de 6 meses, 1 ano ou 2 anos. Estes também se diferenciam pelo submercado e tipo de lote de energia (base ou flexível).

## Sistemática do leilão

Antes do início do leilão, os agentes vendedores fornecem um preço inicial e até 5 patamares de preço de reserva e a quantidade ofertada referente aos mesmos (Figura 5.13). Produtos com características semelhantes (mesmo prazo de duração do contrato, submercado e tipo de lote de energia de base ou energia de ponta) são agrupados e passam a formar uma curva de produto agregado, preservando-se os preços de reserva de cada vendedor (MAE, 2003a).

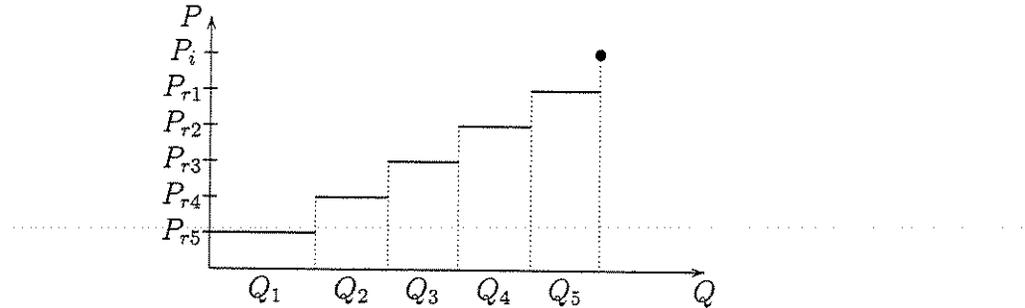


Figura 5.13: Lance das geradoras em patamares de preços de reserva

Para cada preço de reserva haverá uma quantidade de lotes correspondente e, quando o preço de lance atingir valor inferior ao próximo preço de reserva do produto agregado, a quantidade de lotes associada a este preço de reserva será subtraída da quantidade ofertada até então válida para o produto agregado (MAE, 2003a).

Para cada produto agregado, o coordenador do leilão deve especificar os valores decrementais de preço. Durante o período da primeira etapa do leilão o decremento é o dobro do utilizado na segunda etapa (Equação 5.15). O valor decremental desta última etapa é calculado através da equação 5.16.

$$d_1 = 2 d_2, \quad (5.15)$$

$$d_2 = \frac{\left( \frac{P_i - P_{MAE.min}}{2t_1 + t_2} \right)}{60 t_i}, \quad (5.16)$$

onde:

$P_i$  preço inicial do produto agregado [R\$/MWh];

$P_{MAEmin}$  valor estabelecido através da resolução nº 377 da ANEEL (ANEEL, 2003b);

$d_1$  decremento no período 1;

$d_2$  decremento no período 2;

$t_1$  tempo correspondente à primeira etapa do leilão [h];

$t_2$  tempo correspondente à segunda etapa do leilão [h];

$t_i$  tempo de inatividade do leilão [min];

O leilão é de preço descendente, sendo o preço inicial equivalente à média ponderada dos lances iniciais propostos pelos vendedores para determinado produto agregado. O lance inicial mínimo é de 10 lotes para o produto agregado. Após o término do leilão é realizado um rateio para cada produto agregado. Nesta operação, a quantidade negociada pelos vendedores deve ser proporcional às quantidades associadas aos seus preços de reserva inferiores ao preço de fechamento. Para maiores informações sobre regras e sistemática do leilão, consultar o Apêndice B e/ou o edital do leilão de excedentes (MAE, 2003a).

### Formulação

A função objetivo da equação 5.17 maximiza o excedente monetário revelado entre a oferta e a demanda de energia elétrica sob o ponto de vista do leiloeiro, gerando o conjunto de compradores ativos  $A$  ( $A = \{P_j\}$  para  $s_j = 1$ ) e dando preferência, em caso de lances de preço semelhantes, aos lances anteriormente realizados. Toda a quantidade negociada entre agentes deve assumir valores positivos (Equação 5.18), não podendo exceder a quantidade ofertada (Equação 5.21) nem tampouco a demandada (Equação 5.22) pelos agentes envolvidos. As equações 5.19 e 5.20 determinam, respectivamente, a quantidade total negociada por cada vendedor e proponente comprador.

Os proponentes compradores são caracterizados como ativos ou inativos (Equação 5.28), sendo os agentes ativos evidenciados pela negociação de uma quantidade positiva de lotes

(Equação 5.23). A quantidade total negociada no leilão equivale ao somatório das quantidades negociadas tanto pela oferta como pela demanda (Equação 5.24). As equações 5.25, 5.26 e 5.27 são responsáveis pelo rateio da quantidade negociada entre os vendedores ativos.

$$\max \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (P_{ci} \xi + d - P_{vj}) q_{ij} - \epsilon_i s_i q_{ij}, \quad (5.17)$$

$$\text{s.a. } q_{ij} \geq 0, \quad i = 1 \dots n, \quad j = 1 \dots m, \quad (5.18)$$

$$\sum_{i=1}^n q_{ij} = q_{vj}, \quad j = 1 \dots m, \quad (5.19)$$

$$\sum_{j=1}^m q_{ij} = q_{ci}, \quad i = 1 \dots n, \quad (5.20)$$

$$q_{vj} \leq Q_{vj}, \quad j = 1 \dots m, \quad (5.21)$$

$$q_{ci} \leq Q_{ci} s_i, \quad i = 1 \dots n, \quad (5.22)$$

$$q_{ci} \geq s_i \epsilon, \quad i = 1 \dots n, \quad (5.23)$$

$$q_{tot} = \min \left( \sum_{i=1}^n q_{ci}, \sum_{j=1}^m q_{vj} \right), \quad (5.24)$$

$$q_{vjr} = 0, \quad j = 1 \dots m \mid P_{vj} > P_{cn} + d, \quad (5.25)$$

$$q_{vjr} = Q_{vj} \frac{q_{tot}}{\sum_{l \mid P_{vl} \leq P_{cn} + d} Q_{vl}}, \quad j = 1 \dots m \mid P_{vj} \leq P_{cn} + d, \quad (5.26)$$

$$q_{ij} = q_{ci} \frac{q_{vjr}}{q_{tot}}, \quad i = 1 \dots n, \quad j = 1 \dots m, \quad (5.27)$$

$$s_i \in \{0, 1\}, \quad i = 1 \dots n, \quad (5.28)$$

onde:

$i, k$  índices relativos aos agentes compradores;

$j, l$  índices relativos aos agentes vendedores;

$q_{ij}$  quantidade negociada entre comprador  $i$  e vendedor  $j$ ;

$Q_{ci}$  quantidade de lotes demandada pelo comprador  $i$ ;

$Q_{vj}$  quantidade de lotes ofertada pelo vendedor  $j$ ;

$P_{ci}$  lance de preço do comprador  $i$ ;

$P_{vj}$  lance de preço do vendedor  $j$ ;

$q_{ci}$  quantidade negociada pelo comprador  $i$ ;

$q_{vj}$  quantidade negociada pelo vendedor  $j$ ;

$q_{vjr}$  quantidade negociada pelo vendedor  $j$  após o rateio;

$n$  número de lances dos compradores;

$m$  número de lances dos vendedores;

$d$  decremento;

$\xi$  constante de multiplicação  $(1 + \varepsilon)$ ;

Para maiores informações a respeito da formulação utilizada no simulador consultar o Apêndice C.

### 5.3.4 Leilão de certificados

Leilões de certificado de energia elétrica ocorreram no período de junho de 2001 à fevereiro de 2002 devido ao racionamento de energia elétrica enfrentado no Brasil. Visava transferir o direito de uso de meta de consumo de agentes com excesso do mesmo para agentes impossibilitados de reduzir seu consumo para cumprir as regras do racionamento. Este se tornou um mercado atrativo para ambas as partes: vendedores recebiam por transferir seu direito de uso de meta (e não energia) enquanto compradores amenizavam seus gastos por evitar de pagar multas por excesso de consumo.

#### Sistemática do leilão

Compradores e vendedores estabelecem lances de preço e quantidade ao qual estão dispostos a negociar o direito de uso de meta. Os dados inseridos no lance são de conhecimento

apenas de seu executor e do leiloeiro. Estes são organizados de forma ascendente de preço para vendedores e descendente para compradores, caracterizando assim as curvas de oferta e demanda (Figura 5.14).

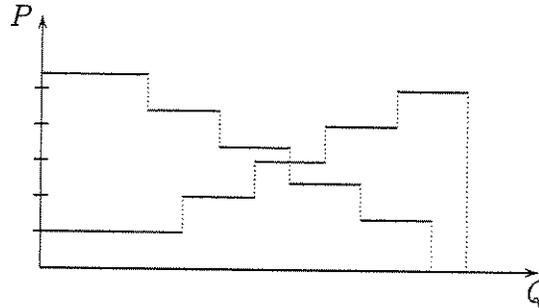


Figura 5.14: Lance dos participantes do leilão de certificados

No caso de lances com o mesmo preço, a quantidade negociada entre os agentes é proporcional ao seu lance. Isto significa que, caso um patamar seja parcialmente negociado, todos os agentes do mesmo grupo (compradores ou vendedores) com lance neste patamar dividem a quantidade negociada proporcionalmente aos seus lances de quantidade a este preço. Para maiores informações sobre regras e sistemática do leilão, consultar o Apêndice B e/ou o edital do leilão de certificados (ASMAE, 2001).

### Formulação

A função objetivo da equação 5.29 maximiza o excedente monetário revelado entre a oferta e a demanda de energia elétrica sob o ponto de vista do leiloeiro. Toda a quantidade negociada entre agentes deve assumir valores positivos (Equação 5.30), não podendo exceder a quantidade ofertada nem tampouco a demandada (Equação 5.31) pelos agentes envolvidos. As equações 5.32 e 5.33 determinam que a soma da quantidade negociada entre os agentes não deve ultrapassar, respectivamente, a demanda ou a oferta de lotes do leilão. As equações 5.34, 5.35, 5.36 e 5.37 são responsáveis pelo rateio da quantidade negociada entre os agentes participantes do leilão no caso de lances de preço idênticos.

$$\max \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (P_{ci} \xi - P_{vj}) q_{ij}, \quad (5.29)$$

$$\text{s.a. } q_{ij} \geq 0, \quad i = 1 \dots n, \quad j = 1 \dots m, \quad (5.30)$$

$$q_{ij} \leq \min(Q_{ci}, Q_{vj}), \quad i = 1 \dots n, \quad j = 1 \dots m, \quad (5.31)$$

$$\sum_{j=1}^m q_{ij} \leq Q_{ci}, \quad i = 1 \dots n, \quad (5.32)$$

$$\sum_{i=1}^n q_{ij} \leq Q_{vj}, \quad j = 1 \dots m, \quad (5.33)$$

$$\sum_{j=1}^m q_{ij} = q_{vj}, \quad i = 1 \dots n, \quad (5.34)$$

$$\sum_{i=1}^n q_{ij} = q_{ci}, \quad j = 1 \dots m, \quad (5.35)$$

$$q_{ci} Q_{ck} = q_{ck} Q_{ci}, \quad i = 1 \dots n, \quad k = 1 \dots n \mid k \neq i \text{ e } P_{ci} = P_{ck}, \quad (5.36)$$

$$q_{vj} Q_{vl} = q_{vl} Q_{vj}, \quad j = 1 \dots m, \quad l = 1 \dots m \mid l \neq j \text{ e } P_{vj} = P_{vl}, \quad (5.37)$$

onde:

$i, k$  índices relativos aos agentes compradores;

$j, l$  índices relativos aos agentes vendedores;

$q_{ij}$  quantidade negociada entre comprador  $i$  e vendedor  $j$ ;

$Q_{ci}$  quantidade de lotes demandada pelo comprador  $i$ ;

$Q_{vj}$  quantidade de lotes ofertada pelo vendedor  $j$ ;

$P_{ci}$  lance de preço do comprador  $i$ ;

$P_{vj}$  lance de preço do vendedor  $j$ ;

$q_{ci}$  quantidade negociada pelo comprador  $i$ ;

$q_{vj}$  quantidade negociada pelo vendedor  $j$ ;

$n$  número de lances dos compradores;

$m$  número de lances dos vendedores;

$\xi$  constante de multiplicação  $(1 + \varepsilon)$ ;

O preço de fechamento do leilão é um preço de equilíbrio que atende simultaneamente a maior quantidade das ofertas de compra e venda de certificados colocados pelos participantes. Caso este equilíbrio suporte 2 ou mais preços, é considerado o menor preço como sendo o de fechamento. Para maiores informações a respeito da formulação utilizada no simulador consultar o Apêndice C.

---

# Capítulo 6

## Implementação do modelo

Através da especificação do modelo feita no capítulo anterior é possível a realização de simulações visando aferir o grau de semelhança entre os resultados esperados e os alcançados. Esse fato permite manifestar as considerações necessárias ao mecanismo proposto, informando suas peculiaridades e utilidades.

### 6.1 Simulação dos possíveis formatos de leilão

Nesta seção são realizadas simulações referentes aos formatos de leilão desenvolvidos nesta dissertação. Esta atividade tem por fim demonstrar a aplicabilidade do simulador, bem como sua completude e forma de determinação de resultados.

#### 6.1.1 Leilão de venda

O exemplo demonstrado nesta seção ilustra um leilão onde a oferta corresponde a 30 lotes e o preço de reserva inicial é de R\$50,00. Seis agentes dão lances de compra informando a quantidade que estão dispostos a adquirir ao preço vigente utilizando o site proposto, como mostram a tabela 6.1 e a figura 6.1.

Tabela 6.1: Exemplo de lances para oferta ( $Q$ ) de 30 lotes

Comprador	Preço corrente [R\$/Lote]	Lance [Lotes]	Posição <sup>1</sup>
1	50	15	PA
2	50	10	NA
3	50	10	NA
4	52	10	A
5	52	15	A
6	52	35	I

<sup>1</sup> A-atendido, PA-parcialmente atendido, NA-não atendido e I-inválido

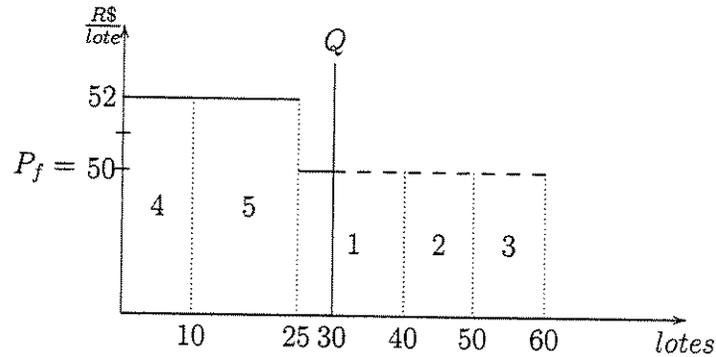


Figura 6.1: Ordenação dos lances dos compradores após sexto lance

Inicialmente, o *comprador 1* ( $c_1$ ) faz seu lance e é totalmente *atendido*, seguido pelo lance de  $c_2$ , que também é *atendido*.  $C_3$  dá seu lance e é *parcialmente atendido* (5 lotes), completando a demanda referente à oferta a R\$50,00. Como a quantidade ofertada àquele preço foi totalmente demandada, há um incremento no preço dos lotes. Contudo, o preço corrente continua sendo R\$ 50,00 até que toda a quantidade  $Q$  seja demandada ao preço de R\$ 52,00. Com vigência do novo lance de preço,  $c_4$  dá seu lance e é *atendido*, fazendo com que  $c_3$  passe para o estado de *não atendido* e receba uma mensagem do sistema. Além disso,  $c_2$  passa a ser *parcialmente atendido* com 5 lotes.  $C_5$  dá seu lance e é totalmente *atendido*, fazendo com que  $c_1$  seja *parcialmente atendido* com apenas 5 lotes. O lance feito por  $c_6$  é

*negado*, uma vez que possui valores incompatíveis para a participação no leilão.

Toda a verificação dos compradores ativos é realizada utilizando-se o algoritmo *branch-and-bound*. Este processo é executado imediatamente após a entrada de um novo lance, sendo seu detalhamento mostrado no Apêndice D. As soluções apresentadas pelo otimizador, bem como a formulação utilizada para o exemplo. Com a obtenção desta solução, o *site* pode informar aos agentes os negócios ocorridos e a situação dos lances dos agentes. Maiores detalhes quanto ao processo de ordenação dos lances dos proponentes compradores são mostrados no Apêndice D.

### 6.1.2 Leilão de compra

O exemplo demonstrado nesta seção ilustra um leilão onde a demanda corresponde a 30 lotes e o preço de reserva inicial é de R\$50,00. Seis agentes dão lances de venda informando a quantidade que estão dispostos a vender ao preço vigente utilizando o *site* proposto, como mostram a tabela 6.2 e a figura 6.2.

Tabela 6.2: Exemplo de lances para demanda ( $Q$ ) de 30 lotes

Comprador	Preço corrente [R\$/Lote]	Lance [Lotes]	Posição <sup>1</sup>
1	50	15	PA
2	50	10	NA
3	50	10	NA
4	48	10	A
5	48	15	A
6	48	35	I

<sup>1</sup> A-atendido, PA-parcialmente atendido, NA-não atendido e I-inválido

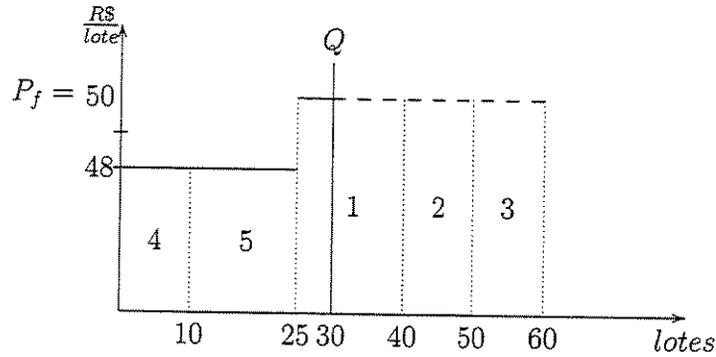


Figura 6.2: Ordenação dos lances dos vendedores após sexto lance

Inicialmente, o *vendedor 1* ( $v_1$ ) faz seu lance e é totalmente *atendido*, seguido pelo lance de  $v_2$ , que também é *atendido*.  $V_3$  dá seu lance e é *parcialmente atendido* (5 lotes), completando a oferta referente à demanda a R\$50,00. Como a quantidade ofertada àquele preço foi totalmente demandada, há um decremento no preço dos lotes. Contudo, o preço corrente continua sendo R\$ 50,00 até que toda a quantidade  $Q$  seja ofertada ao preço de R\$ 48,00. Com vigência do novo lance de preço,  $v_4$  dá seu lance e é *atendido*, fazendo com que  $c_3$  passe para o estado de *não atendido* e receba uma mensagem do sistema. Além disso,  $v_2$  passa a ser *parcialmente atendido* com 5 lotes.  $V_5$  dá seu lance e é totalmente *atendido*, fazendo com que  $v_1$  seja *parcialmente atendido* com apenas 5 lotes. O lance feito por  $v_6$  é *negado*, uma vez que possui valores incompatíveis para a participação no leilão.

Toda a verificação dos vendedores ativos é realizada utilizando-se o algoritmo *branch-and-bound*. Este processo é executado imediatamente após a entrada de um novo lance. As soluções apresentadas pelo otimizador, bem como a formulação utilizada para o exemplo, podem ser verificadas no Apêndice C. Com a obtenção desta solução, o *site* pode informar aos agentes os negócios ocorridos e a situação dos lances dos agentes. Maiores detalhes quanto ao processo de ordenação dos lances dos proponentes vendedores são mostrados no Apêndice D.

### 6.1.3 Leilão de excedentes

Esta seção evidencia um exemplo do leilão de excedentes, onde três vendedores especificaram suas curvas de oferta (com o lance inicial e até cinco preços de reserva suas quantidades associadas) anteriormente ao leilão. Para efeitos de simulação, cada vendedor propôs apenas um patamar de quantidade e preço. Após a abertura do leilão, três proponentes vendedores dão lances de quantidade ao preço corrente que estavam dispostos a pagar conforme a tabela 6.3 (Figura 6.3).

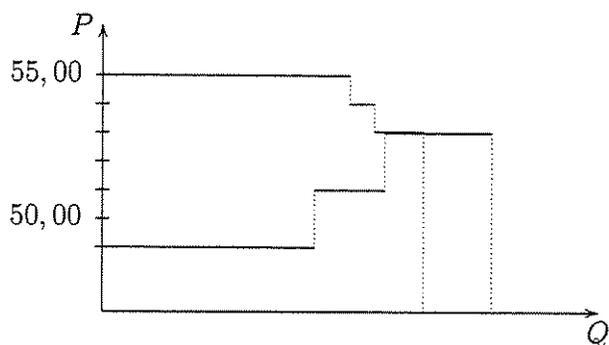


Figura 6.3: Resultado do exemplo de leilão de excedentes

Tabela 6.3: Exemplo dos lances para leilão de excedentes

Agente	Vendedor		Comprador	
	[MWh]	[R\$/MWh]	[MWh]	[R\$/MWh]
1	600	49,00	700	55,00
2	200	51,00	70	54,00
3	300	53,00	140	53,00
<i>Total</i>	1100		910	

Com a utilização destes dados, é realizada uma simulação para determinação de resultados das negociações. Para que sejam efetivadas estas transações é importante o rateio por parte dos vendedores aptos, ou seja, dos que propuseram algum preço de reserva igual ou

inferior ao preço de fechamento do leilão. Resultados deste rateio obtidos pela otimização dos lances são mostrados na tabela 6.4.

Tabela 6.4: Exemplo de rateio para o leilão de excedentes

[Lotes]	$C_1$	$C_2$	$C_3$	<i>Total</i>
$V_1$	381,8182	38,1818	76,3637	496,3637
$V_2$	127,2727	12,7273	25,4545	165,4545
$V_3$	190,9091	19,0909	38,1818	248,1818
<i>Total</i>	700,0000	70,0000	140,0000	910,000

Com os lances dos vendedores ( $v_1$ ,  $v_2$  e  $v_3$ ) efetuados, foi iniciado o processo licitatório. A partir de um preço inicial, o preço de lance foi caindo até chegar ao patamar de R\$ 55,00. A este preço, o *comprador 1* deu um lance de 700 lotes, que foi *totalmente atendido*. O decremento continuou a ser aplicado até que o preço de lance chegasse aos R\$ 54,00. O *comprador 2* fez então seu lance, que foi *totalmente atendido*. Quando o preço de lance chegou ao valor de R\$ 53,00, o *comprador 3* efetuou seu lance e também foi *totalmente atendido*. Após o próximo decremento, a quantidade ofertada passou de 1100 para 800, fazendo com que a quantidade ofertada se tornasse inferior à demanda atual. Este fato caracterizou o final do leilão, que teve seu preço de fechamento equivalente ao preço corrente (R\$ 53,00) acrescido do decremento. Como a oferta foi superior à demanda neste exemplo, houve a necessidade de rateio (Tabela 6.4) entre os ofertantes com lances abaixo do preço de fechamento.

A verificação dos resultados se dá imediatamente após a inserção de cada lance através do simulador. As soluções apresentadas pelo otimizador, bem como a formulação utilizada para o exemplo, podem ser verificadas no Apêndice C. Com a obtenção desta solução, o *site* pode informar aos agentes os negócios ocorridos e a situação dos lances dos agentes.

### 6.1.4 Leilão de certificados

O exemplo demonstrado nesta seção ilustra o leilão ocorrido no dia 16 de agosto de 2001. Neste leilão, 5 proponentes vendedores e 3 proponentes compradores dão seus lances de quantidade e preço em envelope fechado, como ilustra a tabela 6.6.

Tabela 6.5: Exemplo dos lances ocorridos no dia 16 de agosto de 2001 para o leilão de certificados

Agente	Vendedor		Comprador	
	[MWh]	[R\$/MWh]	[MWh]	[R\$/MWh]
1	2500	228,50	1700	233,00
2	240	229,00	100	232,00
3	1700	233,00	500	229,00
4	1200	236,00		
5	500	238,00		
<i>Total</i>	6140		2300	

Após receber os lances, o leiloeiro realiza a otimização das negociações baseado nas regras e restrições impostas pelo mecanismo. As soluções apresentadas pelo otimizador, bem como a formulação utilizada para o exemplo, podem ser verificadas no Apêndice C. A figura 6.4 mostra os lances efetuados pelos agentes. Nota-se que apenas o vendedor 1 realiza negócio com os compradores 1, 2 e 3. O restante dos agentes, por apresentarem lances que gerariam um excedente inferior ao leilão, não realizam negócio.

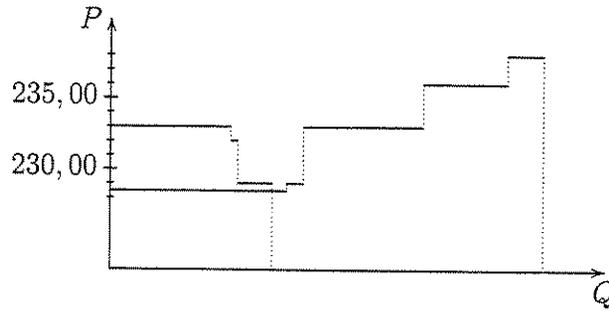


Figura 6.4: Resultado do exemplo de leilão de certificados

O preço de fechamento do leilão é dado pelo maior lance dentre os vendedores que realizaram negócio e, neste exemplo, valeu R\$ 128,50.

Tabela 6.6: Resultado do exemplo do leilão de certificados ocorrido no dia 16 de agosto de 2001

Agente	Vendedor		Comprador	
	[MWh]	[R\$/MWh]	[MWh]	[R\$/MWh]
1	2300	228,50	1700	228,50
2	0	0	100	228,50
3	0	0	500	228,50
4	0	0		
5	0	0		
<i>Total</i>	2300		2300	

O volume transacionado neste dia foi de R\$ 525.550,00, maximizando, assim, o excedente monetário do leilão.

## 6.2 Considerações finais

O simulador de leilão *on-line* apresentado nesta dissertação criou um ambiente aderente às necessidades impostas pela legislação pertinente. A partir dos resultados obtidos nas

simulações referentes aos exemplos mencionados e em testes de validação foi possível demonstrar propriedades desejáveis, como completude, operacionalidade, transparência, flexibilidade, robustez e segurança. Isso confirma as expectativas de Bapna et al. (2001) quanto à equivalência estatística entre os resultados observados e os obtidos pela simulação. O tempo computacional requerido para completar as atividades do leilão são desprezíveis, não se fazendo necessária a formulação de processos de maior eficiência computacional.

A formulação dos leilões de compra, de venda e de certificados podem ser aproveitados na formatação e solução de diversos processos licitatórios semelhantes. O leilão de compra, por exemplo, pode resolver inúmeros formatos de leilão de demanda. Analogamente, o leilão de venda resolve diversos tipos de leilão de oferta. Por fim, resultados de leilões duplos podem ser obtidos a partir da formulação do leilão de certificados. Pequenas alterações quanto às restrições podem ser necessárias objetivando adaptar estas versões a outros modelos.

Resta observar que o modelo criado para otimizar os lances do leilão de excedentes possui uma função objetivo sem definição econômica implícita. Representa o excedente gerado entre os lances dos compradores, adicionando o valor do decremento, e os lances dos vendedores. Isso ocorre devido ao formato do leilão, que faz com que o último agente comprador a dar lance pague um valor equivalente ao preço corrente acrescido do valor do decremento. Assim é possível verificar que os lances dos proponentes compradores não demonstram exatamente sua disposição a pagar, sendo necessária a inserção do valor do decremento na formulação de estratégias de participação.

Para que este *software* gere informações mais precisas a um determinado agente de mercado, aconselha-se o uso dos programas desenvolvidos por Munhoz (2004). Estes possibilitam a inserção de dados obtidos através de modelos matemáticos que empregam informações e expectativas de mercado.

# Capítulo 7

## Conclusões

Mercados de energia elétrica de todo o mundo vêm sofrendo alterações advindas da reestruturação de seus mercados. A inserção da competição na negociação de contratos a partir de leilões vem se difundindo, criando ambientes diversificados de negociação. O mercado brasileiro segue a mesma tendência, tendo criado diversas aplicações para este mecanismo.

O emprego de leilões vai além de licitações de empreendimentos de geração e distribuição, sendo usada como forma de ajuste entre as curvas de oferta e demanda de energia elétrica. A primeira experiência brasileira com leilões no setor elétrico envolvendo a competição entre compradores e vendedores de energia elétrica foi fruto do racionamento. Com a determinação de metas de redução de consumo para os consumidores surgiu o mercado de certificados de energia elétrica. Este foi responsável pela redução do desconforto gerado pela situação de carência de geração.

Com o fim do racionamento percebeu-se a importância desta valiosa ferramenta, que passou a ser usada no leilão de venda ocorrido em setembro de 2002. Este episódio foi marcado pela formação de sinais de preço que realmente apontavam para um preço de energia elétrica gerado pela interação de agentes do mercado.

Em 2003 foi criado um leilão mensal semelhante ao de venda onde, porém, o posicionamento estratégico de participação dos agentes era invertido. Este passou a ser conhecido como leilão de compra, sendo caracterizado pelo baixo índice de negociação. No mesmo ano surgiu o leilão de excedentes, cujo objetivo foi estabelecer contratos entre vendedores e

consumidores finais. Seu formato foi determinado priorizando a vontade dos consumidores, que demonstraram satisfação com seus resultados.

Estes quatro formatos de leilão serviram de inspiração para o desenvolvimento desta dissertação, que apresenta a pesquisa e o desenvolvimento de um simulador de leilão *on-line* para comercialização de energia elétrica nestes ambientes. A possibilidade de verificação de resultados obtidos a partir de estratégias de participação também deram ensejo à efetivação desta proposta.

Para a construção do simulador foi necessária a transformação dos problemas reais existentes nestes quatro casos em problemas matemáticos e computacionais. Foram estabelecidas formulações de pesquisa operacional para determinação dos resultados das negociações para cada formato de leilão. As restrições destes modelos também foram estabelecidas de modo a gerar resultados aderentes aos esperados.

Como a simulação deveria envolver agentes estabelecidos em diferentes localidades, fez-se necessária a formatação de uma configuração de desenvolvimento de *software* baseada em mercados virtuais. Destarte houve a proposta de desenvolvimento baseada no emprego dos programas computacionais MySQL, Netbeans e Lingo. Sua especificação consistiu em linguagens responsáveis pela programação e desenvolvimento (Java), comunicação entre agentes (Java), armazenamento de dados (MySQL), tratamento matemático do problema (Lingo), *software* para conteúdo dinâmico (JSP e HTML) e servidores (Apache e Tomcat).

A partir do desenvolvimento deste simulador foi possível simular estratégias de participação de agentes para verificar a consistência dos resultados e sua sensibilidade relativa às estratégias. Desta forma puderam ser verificadas a completude, operacionalidade, transparência, flexibilidade e robustez do modelo.

Pesquisas futuras podem fomentar a aplicação de modelos probabilísticos para a formatação de agentes virtuais. Isso deve possibilitar a determinação de estratégias com maior probabilidade de obtenção de resultados favoráveis, auxiliando assim na tomada de decisões por parte dos agentes que dispuserem desta ferramenta.

O modelo pode futuramente incorporar restrições de transmissão do setor elétrico brasileiro. Isso permitiria a aplicação de custos de perdas e congestão aos montantes negociados,

inviabilizando alguns negócios e priorizando outros.

Este simulador pode passar a permitir a formatação de novos formatos de leilão, aumentando sua aplicabilidade e, com isso, a importância do mesmo para interessados neste instrumento.

# Apêndice A

## Estrutura de dados

O sistema de leilão precisa armazenar, basicamente, as informações sobre os participantes, os produtos que serão colocados à venda, os lances e os resultados de cada leilão. A escolha dos dados usados na explicitação das variáveis de sistema do simulador de leilão foi baseada nas informações usadas no leilão de energia velha de setembro de 2002 e na proposta para o leilão mensal das distribuidoras com início previsto para julho de 2003 (MAE, 2004). Estas informações são especificadas pela estrutura de dados que define quais as variáveis usadas no programa e seu formato (inteira, caractere, booleana, com casas decimais). A estrutura de dados foi desenvolvida considerando as regras de formato da linguagem Java. Fazem parte desta estrutura:

### i) Participantes

Para participarem do leilão, ofertando ou comprando blocos de energia, os participantes precisam se cadastrar através do próprio *site* do simulador, informando os dados da empresa e o tipo de participação (comprador ou vendedor).

```
//Definição das variáveis
public class Participantes {
    private String empresa;      (Nome da empresa)
    private String cnpj;        (CNPJ da empresa)
    private String endereco;    (Endereço da empresa)
    private String bairro;      (Bairro)
    private String cep;         (CEP)
    private String cidade;      (Cidade)
```

```

private String estado;          (Estado)
private String pais;           (País)
private String telefone;       (Número do telefone)
private String nfax;           (Número do fax)
private String email;          (Endereço eletrônico)
private String tipo;           (Tipo de participante: comprador ou vendedor)
private String nmagencia;       (Nome da agência bancária)
private String nagencia;       (Número da agência bancária)
private String ccorrente;      (Número da conta corrente)
private String nmrepres1;      (Nome do representante 1)
private String cpfrepres1;     (CPF do representante 1)
private String nmrepres2;      (Nome do representante 2)
private String cpfrepres2;     (CPF do representante 2)
private String nmrepres3;      (Nome do representante 3)
private String cpfrepres3;     (CPF do representante 3)
private String logpart;        (Login de acesso)
private String senhpart;       (Senha de acesso)
}

```

## ii) Coordenador

Para o leiloeiro definir o formato e as regras do leilão, ele deve ter um *login* e uma senha.

```

//Definição das variáveis
public class Coordenador {
    private String logcoord;    (Login de acesso à página de formatação)
    private String senhcoord;   (Senha de acesso)
}

```

## ii) Auditor

Para um agente auditar funcionamento do leilão, ele deve ter um *login* e uma senha.

```

//Definição das variáveis
public class Auditor {
    private String logaudit;    (Login de acesso ao auditor)
    private String senhaudit;   (Senha de acesso)
}

```

## iv) Formatação do leilão

Somente usando as definições de coordenador é possível a criação de novos leilões para participação de vendedores e compradores.

```
//Definição das variáveis
public class Coordenador {
    private String codleilao;      (Código do leilão)
    private String natureza;      (Natureza do leilão)
    private String forma;         (Forma do leilão)
    private String pf;            (Preço de fechamento)
    private String pr;            (Existência de preço de reserva)
}
}
```

#### v) Cadastro de produtos

A participação de compradores e vendedores de blocos de energia elétrica no leilão pode se dar, além da participação nas negociações durante o leilão, através da inserção de produtos a serem negociados. Neste caso, compradores interessados em cadastrar produtos para realizar negócios selecionam um leilão e definem sua demanda para que vendedores possam dar lances. O oposto vale para vendedores, que podem cadastrar sua oferta de produtos em leilões criados pelo coordenador. As características dos blocos de energia a serem comercializados são definidos na tela de cadastro de produtos, sendo necessária a realização do *login* anteriormente. Os produtos cadastrados, comercializados ou não, podem ser visualizados na tela de consulta de produto por todos os usuários do sistema de leilão.

```
//Definição das Variáveis usadas para a descrição do produto
public class ProdutoDescrição {
    private String codleilao;      (Código do leilão)
    private int codprod;          (Código do produto)
    private int codpart;          (Código do participante)
    private string descricao;      (Descrição do produto)
    private string naturezap;      (Natureza do produto)
    private double potmax;        (Potência máxima)
    private double potmin;        (Potência mínima)
    private double frestr;        (Fator de restrição)
    private String submercado;    (Submercado)
    private int prazo;            (Prazo do contrato)
    private double preserva1;     (Preço de reserva 1)
    private double preserva2;     (Preço de reserva 2)
    private double preserva3;     (Preço de reserva 3)
    private double preserva4;     (Preço de reserva 4)
    private double preserva5;     (Preço de reserva 5)
    private int qofertada1;       (Quantidade ofertada 1)
    private int qofertada2;       (Quantidade ofertada 2)
    private int qofertada3;       (Quantidade ofertada 3)
    private int qofertada4;       (Quantidade ofertada 4)
    private int qofertada5;       (Quantidade ofertada 5)
}
```

#### vi) Lances

Após efetuação do *login*, os agentes podem selecionar um produto referente a um determinado leilão para dar lances. Informações sobre os lances realizados pelos agentes através da tela de lances do *site* são armazenadas no banco de dados para posterior otimização. Após este processo é definida a situação dos lances como sendo ativa (parcialmente ou totalmente atendidos) ou não (não atendidos).

```
//Definição das Variáveis usadas na definição dos lances
public class Lances {
    private String codlance;      (Código do lance)
    private String codprod;      (Código do produto)
    private String codpart;      (Código do participante)
    private Date horario;        (Horário do lance)
    private int qrequisitada;    (Quantidade requisitada)
    private double plance;       (Preço referente ao lance)
    private boolean situação;    (Situação do lance)
}
```

#### vii) Leilão

Os leilões criados pelo coordenador têm seus produtos gerenciados por um banco de dados que armazena informações relativas ao preço corrente e aos lances dos agentes participantes.

```
//Definição das Variáveis usadas na definição dos resultados dos leilões
public class Leilao {
    private String codleilao;    (Código do leilão)
    private int codrodada;      (Código da rodada)
    private String codprod;     (Código do produto)
    private double plance;      (Preço referente ao lance)
    private double pcorrente;   (Preço corrente)
}
```

#### viii) Resultados

Após a realização das otimizações das negociações dos leilões é feita a armazenagem dos resultados dos leilões por produto a cada rodada, possibilitando a criação de relatórios relativos ao andamento do leilão. Para facilitar o acesso às informações, os relatórios devem ser emitidos com resultados por submercado e por prazo de duração dos contratos.

```
//Definição das Variáveis usadas na apresentação do resultado do produto
public class ProdutoResultado {
    private int codrodada;      (Código da rodada)
    private int codprod;       (Código do produto)
    private int codlance;      (Código do lance)
    private int qnegociada;     (Quantidade de lotes negociados)
}
```

### *ix*) Mensagem

As mensagens enviadas entre participantes no decorrer dos leilões devem ser armazenadas e enviadas aos demais participantes.

```
//Definição das variáveis usadas nas mensagens
public class Mensagem {
    private String codleilao;   (Código do leilão)
    private String codpart;     (Código do participante)
    private String mensagem;    (O corpo da mensagem)
}
```

# Apêndice B

## Detalhamento da sistemática dos leilões

Este capítulo traz alguns dos detalhes necessários ao entendimento do funcionamento e regras básicas dos leilões estudados nesta dissertação. Para maiores informações sugere-se a leitura dos documentos oficiais disponibilizados em MAE (2004).

### B.1 Leilão de venda

Esta seção busca retratar algumas das informações disponíveis em MAE (2002a), visando orientar e esclarecer detalhes das regras do leilão de venda.

#### B.1.1 Geral

1. Para cada produto ofertado, o vendedor deve especificar no mínimo 1 e no máximo 5 preços de reserva. Para cada preço de reserva deve haver uma quantidade correspondente. Quando o preço corrente atingir ou superar o próximo preço de reserva relativo ao produto há um acréscimo da quantidade ofertada correspondente a este preço de reserva.
2. Para cada produto, o coordenador deve especificar, a seu critério, um incremento de

preço, que pode ser modificado no decorrer do processo. O incremento inicial de todos os produtos deve ser igual.

3. Um lance submetido pelo proponente comprador constitui uma oferta incondicional de compra ao preço de lance inserido.
4. O total dos lances ativos para um determinado produto de proponentes compradores que façam parte de um grupo de empresas afiliadas não poderá ser superior à quantidade ofertada multiplicada pelo fator de restrição.
5. O fator de restrição para todos os produtos é de 0.7, exceto em casos onde a oferta total não exceda 100 lotes, onde o fator de restrição é 1.

### **B.1.2 Progressão do leilão**

1. O sistema valida e processa cada lance recebido na ordem em que foram efetuados.
2. Para que um lance seja válido este deve ser expresso por meio de um número inteiro positivo inferior à quantidade ofertada multiplicada pelo fator de restrição deste produto, subtraindo-se os lances ativos de lances de seu grupo de empresas afiliadas.
3. Toda vez que a quantidade demandada de um produto igualar ou superar a quantidade ofertada, o sistema deve automaticamente alterar o preço corrente para o preço de lance e calcular um novo preço de lance através da adição do incremento de preço ao, até então, preço de lance. Quando este novo preço de lance atingir um preço de reserva, ao invés de calcular um novo preço de lance, deve ser acrescida a quantidade ofertada associada àquele preço de reserva à, até então, quantidade ofertada.
4. A quantidade ofertada de um determinado produto será equivalente à soma das quantidades ofertadas associadas aos preços de reserva menores ou iguais ao preço corrente.
5. Os lances válidos para um produto são classificados em ordem decrescente de preço de lance e, no caso de lances ao mesmo preço, em ordem crescente de horário de recebimento pelo sistema.

## **B.2 Leilão de compra**

Esta seção busca retratar algumas das informações disponíveis em MAE (2003b), visando orientar e esclarecer detalhes das regras do leilão de compra.

### **B.2.1 Geral**

1. Para cada produto demandado, o comprador deve especificar no mínimo 1 e no máximo 5 preços de reserva. Para cada preço de reserva deve haver uma quantidade correspondente. Quando o preço corrente atingir ou superar o próximo preço de reserva relativo ao produto há um acréscimo da quantidade demandada correspondente a este preço de reserva.
2. Para cada produto, o coordenador deve especificar, a seu critério, um decremento de preço, que pode ser modificado no decorrer do processo. O decremento inicial de todos os produtos deve ser igual.
3. Um lance submetido pelo proponente vendedor constitui uma oferta incondicional de venda ao preço de lance inserido.
4. O total dos lances ativos para um determinado produto de proponentes vendedores que façam parte de um grupo de empresas afiliadas não poderá ser superior à quantidade demandada multiplicada pelo fator de restrição.
5. O fator de restrição para todos os produtos é de 0.7, exceto em casos onde a demanda total não exceda 100 lotes, onde o fator de restrição é 1.

### **B.2.2 Progressão do leilão**

1. O sistema valida e processa cada lance recebido na ordem em que foram efetuados.
2. Para que um lance seja válido este deve ser expresso por meio de um número inteiro positivo inferior à quantidade demandada multiplicada pelo fator de restrição deste produto, subtraindo-se os lances ativos de lances de seu grupo de empresas afiliadas.

3. Toda vez que a quantidade ofertada de um produto igualar ou superar a quantidade demandada, o sistema deve automaticamente alterar o preço corrente para o preço de lance e calcular um novo preço de lance através da subtração do decremento de preço ao, até então, preço de lance. Quando este novo preço de lance atingir um preço de reserva, ao invés de calcular um novo preço de lance, deve ser acrescida a quantidade demandada associada àquele preço de reserva à, até então, quantidade demandada.
4. A quantidade demandada de um determinado produto será equivalente à soma das quantidades demandadas associadas aos preços de reserva maiores ou iguais ao preço corrente.
5. Os lances válidos para um produto são classificados em ordem crescente de preço de lance e, no caso de lances ao mesmo preço, em ordem crescente de horário de recebimento pelo sistema.

## **B.3 Leilão de excedentes**

Esta seção busca retratar algumas das informações disponíveis em MAE (2003a), visando orientar e esclarecer detalhes das regras do leilão de excedentes.

### **B.3.1 Geral**

1. O leilão é de preço descendente, sendo o preço inicial do produto agregado equivalente ao maior dentre os preços iniciais informados pelos respectivos vendedores.
2. Além do preço inicial, cada vendedor pode apresentar até 5 preços de reserva, relacionando a quantidade de lotes a serem retirados de oferta a estes preços.
3. Os decréscimos dos preços de lances dos produtos agregados são independentes, bem como o fechamento do leilão, que pode ocorrer isoladamente para cada produto agregado.

### **B.3.2 Progressão do leilão**

1. Proponentes compradores devem apresentar seus lances contendo a quantidade de lotes que deseja adquirir para um determinado produto agregado tendo como referência o preço de lance.
2. O lance inicial mínimo é de 10 lotes.
3. No caso do preço de lance de um determinado produto agregado ser igual ou menor do que um dos preços de reserva informado pelo vendedor, a quantidade ofertada correspondente é reduzida.
4. O sistema processa os lances seqüencialmente na ordem em que são recebidos, criando uma lista em ordem decrescente de preço para o produto agregado.

## **B.4 Leilão de certificados**

Esta seção busca retratar algumas das informações disponíveis em ASMAE (2001), visando orientar e esclarecer detalhes das regras do leilão de certificados.

### **B.4.1 Geral**

1. Leilão diário operado pela Bovespa.
2. Ofertas realizadas mediante a lotes mínimos de 50MWh, podendo ser acrescidos de parcelas inteiras, múltiplas de 10, como frações deste lote.

### **B.4.2 Progressão do leilão**

1. Os participantes (compradores e vendedores) devem dar lances dentro do limite de seu saldo em certificado.
2. As ofertas podem ser alteradas ou canceladas em qualquer instante do leilão.

3. Ofertas a preços iguais são registradas conforme sua ordem cronológica.
4. O preço de fechamento do leilão deve ser um preço de equilíbrio capaz de atender, de forma simultânea, a maior quantidade das ofertas de compra e venda de certificados colocados pelos participantes. Caso este equilíbrio suporte 2 ou mais preços, é considerado o menor preço como sendo o de equilíbrio.

# Apêndice C

## Resultados computacionais

Os exemplos propostos nesta dissertação foram resolvidos utilizando-se o programa Lingo. Os algoritmos utilizados no programa Lingo para encontrar a solução ótima dos leilões de venda, de compra, de excedentes e de certificados são respectivamente mostrados nas figuras C.1, C.2, C.3 e C.4. Nestes programas, os dados iniciais inseridos são referentes aos exemplos propostos para cada formato de leilão, sendo as soluções apresentadas nas tabelas C.1, C.2, C.3 e C.4. Isso possibilita determinar a quantidade negociada por cada agente.

## C.1 Leilão de venda

Tabela C.1: Tabela da otimização do exemplo para determinação dos negócios no leilão de venda

Dados		Solução	
Variável	Valor	Variável	Valor
$P_1$	50	$s_1$	1
$P_2$	50	$s_2$	0
$P_3$	50	$s_3$	0
$P_4$	52	$s_4$	1
$P_5$	52	$s_5$	1
$Q_1$	15	$q_1$	5
$Q_2$	10	$q_2$	0
$Q_3$	10	$q_3$	0
$Q_4$	10	$q_4$	10
$Q_5$	15	$q_5$	15
$P_r$	50		
$Q$	30	$z^*$	1.550
$\varepsilon$	$10^{-4}$		

```

Model:
Title Leilão on-line para comercialização de energia elétrica;

Sets:!Declaração de variáveis;
comprador / 1, 2, 3, 4, 5/ :P, Q, qn, s;endsets

Data:!Dados iniciais;
P=50,50,50,52,52;
Q=15,10,10,10,15;
V=30;
pr=50;
e=0.0001;
fr=0.7;enddata

.....

[Funcao_objetivo]Max=@Sum(comprador(I):P(I)*qn(I)-e*s(I)*I*qn(I));
!Restrições;
@For(comprador(I):P(I)>=pr*s(I));
@Sum(comprador(I):qn(I)<=V;
@For(comprador(I):qn(I)<=fr*V);
@For(comprador(I):qn(I)>=0);
@For(comprador(I):qn(I)<=(Q(I)*s(I)));
@For(comprador(I):@BIN(s(I)));END

!Onde:
P lance de preço dos compradores,
Q lance de quantidade de energia/blocos dos compradores,
qn quantidade de energia/blocos negociada entre ofertante e comprador,
s situação dos compradores - inativo/ativo,
V quantidade ofertada de energia/blocos,
pr preço de reserva,
e valor pequeno,
fr fator de restrição;

```

Figura C.1: Programa de otimização no Lingo para leilão de venda

## C.2 Leilão de compra

Tabela C.2: Tabela da otimização do exemplo para determinação dos negócios no leilão de compra

Dados		Solução	
Variável	Valor	Variável	Valor
$P_1$	50	$s_1$	1
$P_2$	50	$s_2$	0
$P_3$	50	$s_3$	0
$P_4$	48	$s_4$	1
$P_5$	48	$s_5$	1
$Q_1$	15	$q_1$	5
$Q_2$	10	$q_2$	0
$Q_3$	10	$q_3$	0
$Q_4$	10	$q_4$	10
$Q_5$	15	$q_5$	15
$P_r$	50		
$Q$	30	$z^*$	1.450
$\varepsilon$	$10^{-4}$		

```

Model:
Title Leilão on-line para comercialização de energia elétrica;

Sets: !Declaração de variáveis;
comprador / 1, 2, 3, 4, 5/ :P, Q, qn, s; endsets

Data: !Dados iniciais;
P=50,50,50,48,48;
Q=15,10,10,10,15;
V=30;
pc=50;
e=.000001;
enddata

[Funcao_objetivo]min=@Sum(vendedor(I):(P(I)*qn(I)+e*I*S(I)*qn(I)));
!Restrições;
@For(vendedor(I):P(I)*s(I)<=pc);
@Sum(vendedor(I):qn(I))>=@SMIN(V,@Sum(vendedor(I):(Q(I))));
@For(vendedor(I):qn(I)>=0);
@For(vendedor(I):qn(I)<=@IF(V#LT#100,1,0.7)*V);
@For(vendedor(I):qn(I)<=(Q(I)*s(I)));
@For(vendedor(I):@BIN(s(I)));
END

!Onde:
P lance de preço dos vendedores,
Q lance de quantidade de energia/blocos dos vendedores,
qn quantidade de energia/blocos negociada entre demandante e vendedor,
s situação dos vendedores - inativo/ativo,
V quantidade demandada de energia/blocos,
fr fator de restrição,
pc preço corrente,
e valor infinitesimal;

```

Figura C.2: Programa de otimização no Lingo para leilão de compra

### C.3 Leilão de excedentes

Tabela C.3: Tabela da otimização do exemplo para determinação dos negócios no leilão de excedentes

Dados		Solução	
Variável	Valor	Variável	Valor
$P_{c1}$	55	$q_{c1}$	700
$P_{c2}$	54	$q_{c2}$	700
$P_{c3}$	53	$q_{c3}$	140
$Q_{c1}$	700	$q_{v1}$	496,36
$Q_{c2}$	70	$q_{v2}$	165,46
$Q_{c3}$	140	$q_{v3}$	248,18
$P_{v1}$	49	$q_{11}$	381,81
$P_{v2}$	51	$q_{12}$	127,27
$P_{v3}$	53	$q_{13}$	190,90
$Q_{v1}$	600	$q_{21}$	38,18
$Q_{v2}$	200	$q_{22}$	12,72
$Q_{v3}$	300	$q_{23}$	19,09
$\varepsilon$	$10^{-3}$	$q_{31}$	76,36
$\xi$	$1 + \varepsilon$	$q_{32}$	25,45
		$q_{33}$	38,18
		$z^*$	4107

```

Model:
Title Leilão on-line para comercialização de energia elétrica;

Data:!Dados iniciais;
n=3;m=3;enddata

Sets:!Declaração de variáveis;
comprador / 1..n/ :Pc, Qc, qnc, s;
vendedor / 1..m/ :Pv, Qv, qnv, qnvf;
negociado(comprador,vendedor): qn;endsets

Data:!Dados iniciais;
Pc = 55 54 53;Pv = 49 51 53;Qc = 700 70 140;Qv = 600 200 300;
w=1.000001;e=0.001;d=0.3;enddata

[Funcao_objetivo]
max=@Sum(comprador(I):@Sum(vendedor(J):((Pc(I)*w+d-Pv(J))*qn(I,J)-e*I*s(I)*qn(I,J))));
!Restrições;
@For(negociado(I,J):qn(I,J) > 0);
@For(comprador(I):qnc(I) < Qc(I)*s(I));
@For(vendedor(J):qnv(J) < Qv(J));
@For(comprador(I):@Sum(vendedor(J): qn(I,J))=qnc(I));
@For(vendedor(J):@Sum(comprador(I): qn(I,J))=qnv(J));
@For(comprador(I):qnc(I) > s(I)*e);
@For(vendedor(J):@For(vendedor(L)|L#NE#J#AND#Pv(J)#EQ#Pv(L):qnv(J)*Qv(L)=qnv(L)*Qv(J));
@For(comprador(I):@BIN(s(I)));
qntot=@SMin(@Sum(comprador(I): qnc(I)),@Sum(vendedor(J): qnv(J)));
@For(vendedor(J):qnvf(J)=@If(Pv(J)#LE#pf,Qv(J)*qntot/@Sum(Vendedor(L)|Pv(L)#LE#pf:Qv(L)),0));
@For(negociado(I,J): qn(I,J)= qnc(I)*qnvf(J)/qntot);
pf=Pc(n)+d;END

```

Figura C.3: Programa de otimização no Lingo para leilão de excedentes

## C.4 Leilão de certificados

Tabela C.4: Tabela da otimização do exemplo para determinação dos negócios no leilão de certificados

Dados		Solução	
Variável	Valor	Variável	Valor
$P_{c1}$	50	$q_{c1}$	1700
$P_{c2}$	50	$q_{c2}$	100
$P_{c3}$	50	$q_{c3}$	500
$Q_{c1}$	52	$q_{v1}$	2300
$Q_{c2}$	52	$q_{v2}$	0
$Q_{c3}$	15	$q_{v3}$	0
$P_{v1}$	10	$q_{v4}$	0
$P_{v2}$	10	$q_{v5}$	0
$P_{v3}$	10		
$P_{v4}$	15	$z^*$	8250
$P_{v5}$	15		
$Q_{v1}$	2500		
$Q_{v2}$	240		
$Q_{v3}$	1700		
$Q_{v4}$	1200		
$Q_{v5}$	500		
$\xi$	$1 + 10^{-6}$		

```

Model:
Title Leilão on-line para comercialização de energia elétrica;!16/08/2001;

Data:!Dados iniciais;
n=3;m=5;enddata

Sets:!Declaração de variáveis;
comprador / 1..n/ :Pc, Qc, qnc;
vendedor / 1..m/ :Pv, Qv, qnv;
negociado(comprador,vendedor): qn;endsets

Data:!Dados iniciais;
Pc = 233 232 229;
Pv = 228.5 229 233 236 238;
Qc = 1700 100 500;
Qv = 2500 240 1700 1200 500;
e=1.0001;enddata

[Funcao_objetivo]max=@Sum(comprador(I):@Sum(vendedor(J):(Pc(I)*e-Pv(J))*qn(I,J)));
!Restrições;
@For(negociado(I,J):qn(I,J) > 0);
@For(negociado(I,J):qn(I,J) < @Smin(Qc(I),Qv(J)));
@For(comprador(I):@Sum(vendedor(J): qn(I,J)) < Qc(I));
@For(vendedor(J):@Sum(comprador(I): qn(I,J)) < Qv(J));
!Restrições para determinar a quantidade negociada de cada agente;
@For(comprador(I):@Sum(vendedor(J): qn(I,J))=qnc(I));
@For(vendedor(J):@Sum(comprador(I): qn(I,J))=qnv(J));
@For(comprador(I):@For(comprador(K)|K #NE# I #AND# Pc(I) #EQ# Pc(K):
    qnc(I)*Qc(K)=qnc(K)*Qc(I));
@For(vendedor(J):@For(vendedor(L)|L #NE# J #AND# Pv(J) #EQ# Pv(L):
    qnv(J)*Qv(L)=qnv(L)*Qv(J));END

```

Figura C.4: Programa de otimização no Lingo para leilão de certificados

# Apêndice D

## Sessão experimental detalhada

O presente capítulo reproduz os processos referentes aos exemplos dos leilões de venda e compra do capítulo 6. Sua finalidade é detalhar a dinâmica de lances dos participantes dos leilões, visando ampliar o entendimento das regras e do funcionamento destes mecanismos.

### D.1 Leilão de venda

Inicialmente, como mostrado no Capítulo 6, a oferta corresponde à 30 lotes e o preço de reserva inicial é de R\$50,00 (Tabela D.1 e Figura D.1). Isso implica em que os preços de lance e de fechamento sejam inicialmente de R\$50,00.

Tabela D.1: Exemplo de lances para oferta ( $Q$ ) de 30 lotes

Comprador	Preço corrente [R\$/Lote]	Lance [Lotes]	Posição <sup>1</sup>
1			
2			
3			
4			
5			
6			

<sup>1</sup> A-atendido, PA-parcialmente atendido, NA-não atendido e I-inválido

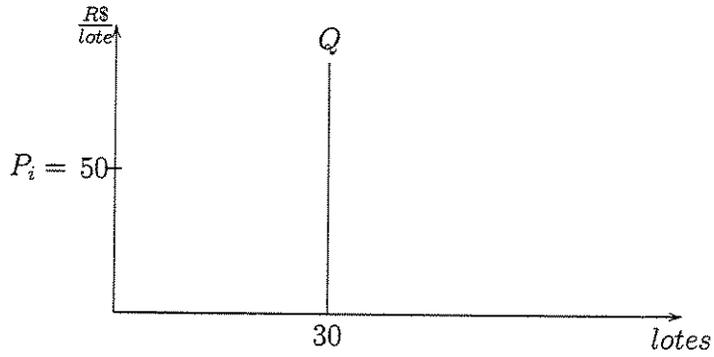


Figura D.1: Exemplo de lances para oferta ( $Q$ ) de 30 lotes

Após a abertura do leilão, o *comprador 1* ( $c_1$ ) faz seu lance e é totalmente *atendido* (Tabela D.2 e Figura D.2).

Tabela D.2: Exemplo de 1 lance para oferta ( $Q$ ) de 30 lotes

Comprador	Preço corrente [R\$/Lote]	Lance [Lotes]	Posição <sup>1</sup>
1	50	15	A
2			
3			
4			
5			
6			

<sup>1</sup> A-atendido, PA-parcialmente atendido, NA-não atendido e I-inválido

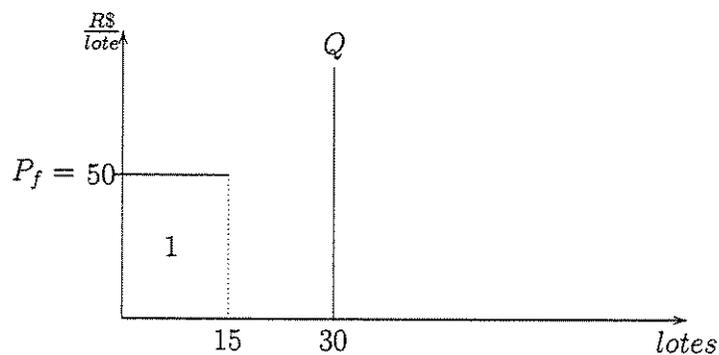


Figura D.2: Ordenação de 1 lance para oferta ( $Q$ ) de 30 lotes

Em seguida, o *comprador 2* ( $c_2$ ) dá um lance de 10 lotes e também é *atendido* (Tabela D.3 e Figura D.3).

Tabela D.3: Exemplo de 2 lances para oferta ( $Q$ ) de 30 lotes

Comprador	Preço corrente [R\$/Lote]	Lance [Lotes]	Posição <sup>1</sup>
1	50	15	A
2	50	10	A
3			
4			
5			
6			

<sup>1</sup> A-atendido, PA-parcialmente atendido, NA-não atendido e I-inválido

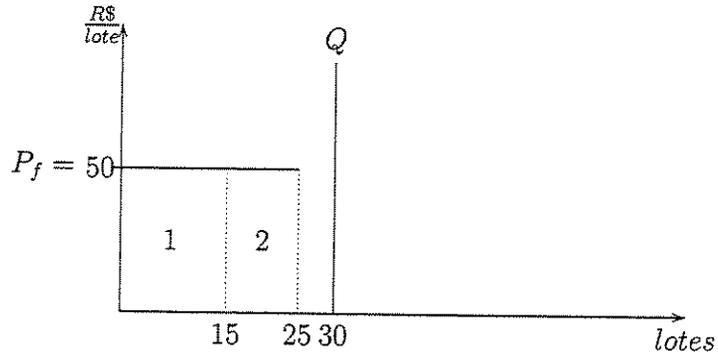


Figura D.3: Ordenação de 2 lances para oferta ( $Q$ ) de 30 lotes

O comprador 3 ( $c_3$ ) dá um lance de 10 lotes e é *parcialmente atendido* (5 lotes), completando a demanda de 30 lotes referente à oferta a R\$50,00 (Tabela D.4 e Figura D.4).

Tabela D.4: Exemplo de 3 lances para oferta ( $Q$ ) de 30 lotes

Comprador	Preço corrente [R\$/Lote]	Lance [Lotes]	Posição <sup>1</sup>
1	50	15	A
2	50	10	A
3	50	10	PA
4			
5			
6			

<sup>1</sup> A-atendido, PA-parcialmente atendido, NA-não atendido e I-inválido

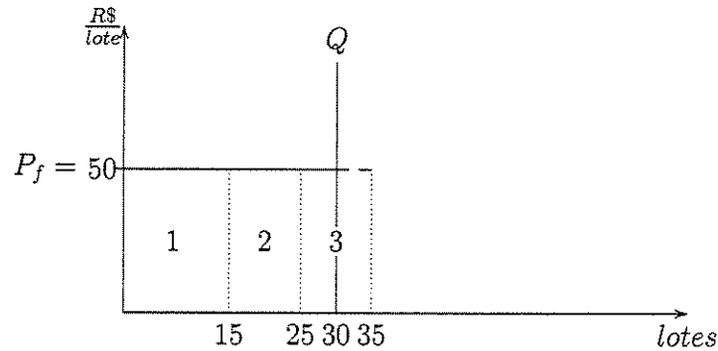


Figura D.4: Ordenação de 3 lances para oferta ( $Q$ ) de 30 lotes

Como toda a oferta a R\$50,00 foi demandada há um incremento no preço de lance, permanecendo o preço de fechamento como R\$50,00, ou seja, o último patamar de preço totalmente atendido. O novo preço de lance passa a ser R\$52,00, ao qual o *comprador 4* ( $c_4$ ) propõe um lance de 10 lotes. Isso faz com que  $c_4$  seja *atendido* devido à preferência dada aos lances de maior valor. Além disso, o agente  $c_2$  passa a ser *parcialmente atendido* (5 lotes), fazendo com que  $c_3$  passe ao estado de *não atendido* devido à ordenação dos lances com mesmo preço (Tabela D.5 e Figura D.5).

Tabela D.5: Exemplo de 4 lances para oferta ( $Q$ ) de 30 lotes

Comprador	Preço corrente [R\$/Lote]	Lance [Lotes]	Posição <sup>1</sup>
1	50	15	A
2	50	10	PA
3	50	10	NA
4	52	10	A
5			
6			

<sup>1</sup> A-atendido, PA-parcialmente atendido, NA-não atendido e I-inválido

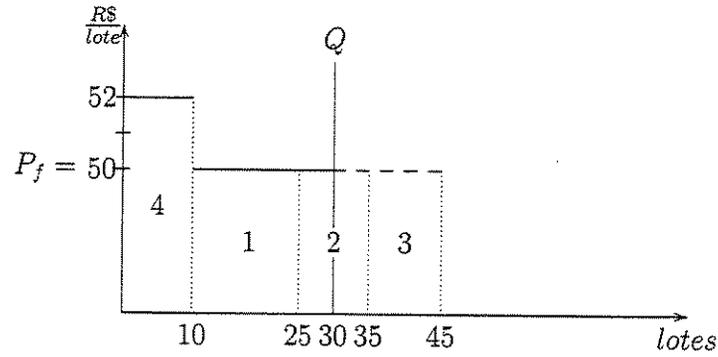


Figura D.5: Ordenação de 4 lances para oferta ( $Q$ ) de 30 lotes

O comprador 5 ( $c_5$ ) dá um lance de 15 lotes e é *atendido*, fazendo com que o agente  $c_1$  passe a ser *parcialmente atendido* (5 lotes) e com que  $c_2$  passe ao estado de *não atendido* devido à ordenação dos lances com mesmo preço (Tabela D.6 e Figura D.6).

Tabela D.6: Exemplo de 5 lances para oferta ( $Q$ ) de 30 lotes

Comprador	Preço corrente [R\$/Lote]	Lance [Lotes]	Posição <sup>1</sup>
1	50	15	PA
2	50	10	NA
3	50	10	NA
4	52	10	A
5	52	15	A
6			

<sup>1</sup> A-atendido, PA-parcialmente atendido, NA-não atendido e I-inválido

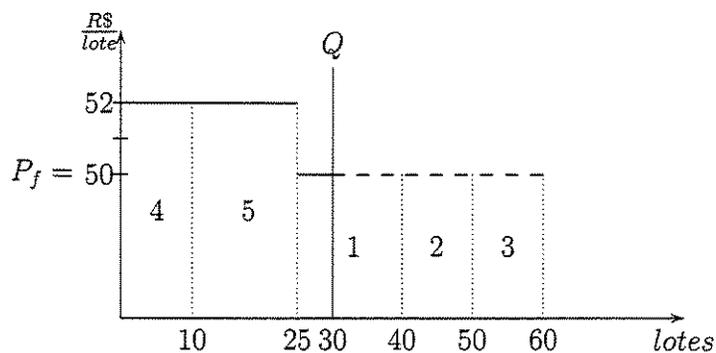


Figura D.6: Ordenação de 5 lances para oferta ( $Q$ ) de 30 lotes

O lance feito por  $c_6$  é *negado*, uma vez que possui valores incompatíveis para a participação no leilão. Destarte, o simulador desconsidera este valor e determina novamente que o preço de fechamento do leilão neste estágio é de R\$50,00 (Tabela D.7 e Figura D.7).

Tabela D.7: Exemplo de 6 lances para oferta ( $Q$ ) de 30 lotes

Comprador	Preço corrente [R\$/Lote]	Lance [Lotes]	Posição <sup>1</sup>
1	50	15	PA
2	50	10	NA
3	50	10	NA
4	52	10	A
5	52	15	A
6	52	35	I

<sup>1</sup> A-atendido, PA-parcialmente atendido, NA-não atendido e I-inválido

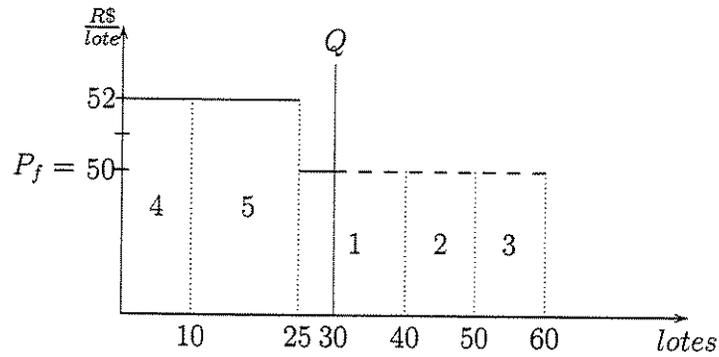


Figura D.7: Ordenação após sexto lance para oferta ( $Q$ ) de 30 lotes

## D.2 Leilão de compra

Inicialmente, como mostrado no Capítulo 6, a demanda corresponde à 30 lotes e o preço de reserva inicial é de R\$50,00 (Tabela D.8 e Figura D.8). Isso implica em que os preços de lance e de fechamento sejam inicialmente de R\$50,00.

Tabela D.8: Exemplo de lances para demanda ( $Q$ ) de 30 lotes

Vendedor	Preço corrente [R\$/Lote]	Lance [Lotes]	Posição <sup>1</sup>
1			
2			
3			
4			
5			
6			

<sup>1</sup> A-atendido, PA-parcialmente atendido, NA-não atendido e I-inválido

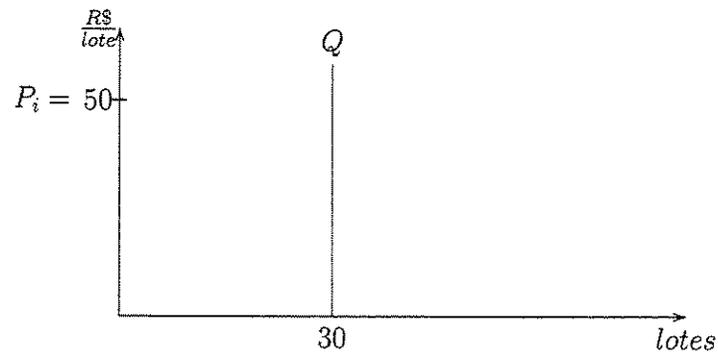


Figura D.8: Exemplo de lances para demanda ( $Q$ ) de 30 lotes

Após a abertura do leilão, o *vendedor 1* ( $v_1$ ) faz seu lance e é totalmente *atendido* (Tabela D.9 e Figura D.9).

Tabela D.9: Exemplo de 1 lance para demanda ( $Q$ ) de 30 lotes

Vendedor	Preço corrente [R\$/Lote]	Lance [Lotes]	Posição <sup>1</sup>
1	50	15	A
2			
3			
4			
5			
6			

<sup>1</sup> A-atendido, PA-parcialmente atendido, NA-não atendido e I-inválido

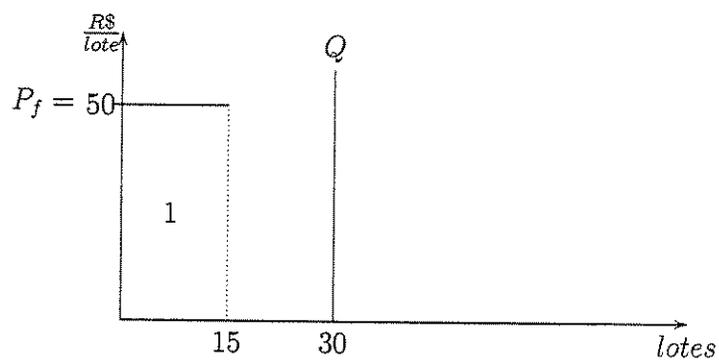


Figura D.9: Ordenação de 1 lance para demanda ( $Q$ ) de 30 lotes

Em seguida, o *vendedor 2* ( $v_2$ ) dá um lance de 10 lotes e também é *atendido* (Tabela D.10 e Figura D.10).

Tabela D.10: Exemplo de 2 lances para demanda ( $Q$ ) de 30 lotes

Vendedor	Preço corrente [R\$/Lote]	Lance [Lotes]	Posição <sup>1</sup>
1	50	15	A
2	50	10	A
3			
4			
5			
6			

<sup>1</sup> A-atendido, PA-parcialmente atendido, NA-não atendido e I-inválido

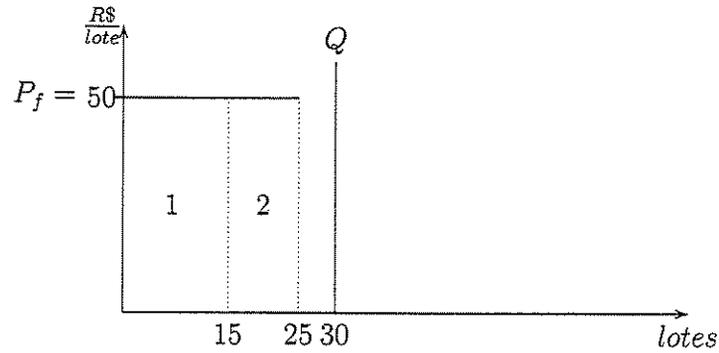


Figura D.10: Ordenação de 2 lances para demanda ( $Q$ ) de 30 lotes

O *vendedor 3* ( $v_3$ ) dá um lance de 10 lotes e é *parcialmente atendido* (5 lotes), completando a oferta de 30 lotes referente à demanda a R\$50,00 (Tabela D.11 e Figura D.11).

Tabela D.11: Exemplo de 3 lances para demanda ( $Q$ ) de 30 lotes

Vendedor	Preço corrente [R\$/Lote]	Lance [Lotes]	Posição <sup>1</sup>
1	50	15	A
2	50	10	A
3	50	10	PA
4			
5			
6			

<sup>1</sup> A-atendido, PA-parcialmente atendido, NA-não atendido e I-inválido

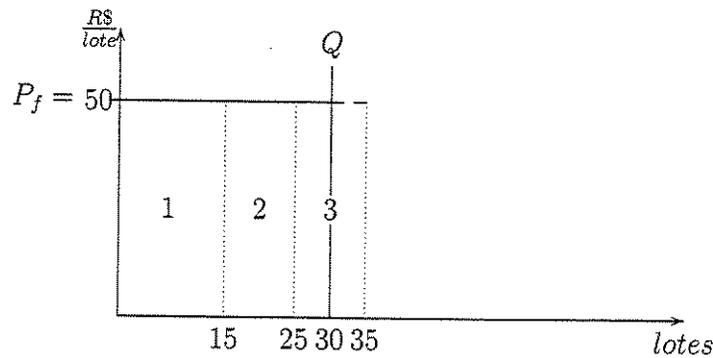


Figura D.11: Ordenação de 3 lances para demanda ( $Q$ ) de 30 lotes

Como toda a demanda a R\$50,00 foi ofertada há um decremento no preço de lance, permanecendo o preço de fechamento como R\$50,00, ou seja, o último patamar de preço totalmente atendido. O novo preço de lance passa a ser R\$48,00, ao qual o *vendedor 4* ( $v_4$ ) propõe um lance de 10 lotes. Isso faz com que  $v_4$  seja *atendido* devido à preferência dada aos lances de menor valor. Além disso, o agente  $v_2$  passa a ser *parcialmente atendido* (5 lotes), fazendo com que  $v_3$  passe ao estado de *não atendido* devido à ordenação dos lances com mesmo preço (Tabela D.12 e Figura D.12).

Tabela D.12: Exemplo de 4 lances para demanda ( $Q$ ) de 30 lotes

Vendedor	Preço corrente [R\$/Lote]	Lance [Lotes]	Posição <sup>1</sup>
1	50	15	A
2	50	10	PA
3	50	10	NA
4	48	10	A
5			
6			

<sup>1</sup> A-atendido, PA-parcialmente atendido, NA-não atendido e I-inválido

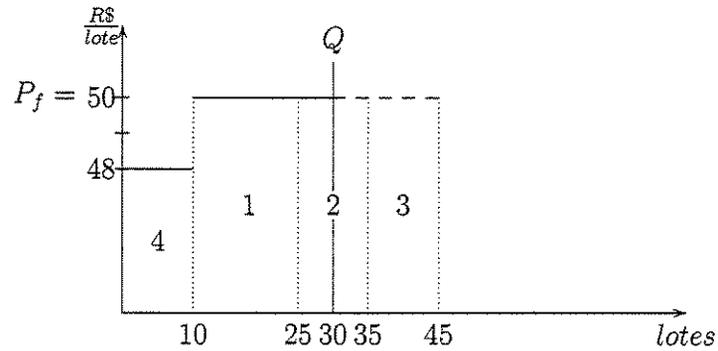


Figura D.12: Ordenação de 4 lances para demanda ( $Q$ ) de 30 lotes

O *vendedor 5* ( $v_5$ ) dá um lance de 15 lotes e é *atendido*, fazendo com que o agente  $v_1$  passe a ser *parcialmente atendido* (5 lotes) e com que  $v_2$  passe ao estado de *não atendido* devido à ordenação dos lances com mesmo preço (Tabela D.13 e Figura D.13).



Tabela D.14: Exemplo de 6 lances para demanda ( $Q$ ) de 30 lotes

Vendedor	Preço corrente [R\$/Lote]	Lance [Lotes]	Posição <sup>1</sup>
1	50	15	PA
2	50	10	NA
3	50	10	NA
4	48	10	A
5	48	15	A
6	48	35	I

<sup>1</sup> A-atendido, PA-parcialmente atendido, NA-não atendido e I-inválido

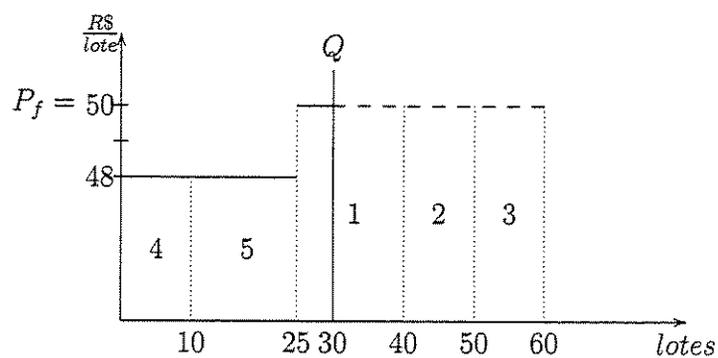


Figura D.14: Ordenação após sexto lance para demanda ( $Q$ ) de 30 lotes

# Referências Bibliográficas

- ANEEL (2002a). Edital de leilão nº 001/2002.
- ANEEL (2002b). Edital de leilão nº 002/2002.
- ANEEL (2002c). Resolução nº 228, de 24 de abril de 2002.
- ANEEL (2003a). Resolução nº 246, de 23 de maio de 2003.
- ANEEL (2003b). Resolução nº 377, de 30 de julho de 2003.
- ANEEL (2004). Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/>. Acesso em 4 de março de 2004.
- Araújo, J. L. (1988). Modelos de energia para planejamento. Dissertação de mestrado, COPPE/UFRJ.
- ASMAE (2001). Normas para comercialização temporária de energia elétrica em razão do programa emergencial de racionamento.
- Bakken, S. S. et al. (2000). PHP manual. Disponível em <http://start.it.uts.edu.au/w/doc/solaris/PHP/index.html>. Acesso em 4 de março de 2004.
- Bapna, R., P. Goes, e A. Gupta (2001). Simulating online yankee auctions to optimize sellers revenue. Em *Proceedings of the 34th Hawaii International Conference on System Sciences*. IEEE Computer Society.
- Barnes, S. J. e R. T. Vidgen (2001). Assessing the quality of auction web sites. Em *34th Hawaii International Conference on System Sciences*, Hawaii, USA.
- Barnes, S. J. e R. T. Vidgen (2002). An integrative approach to the assessment of e-commerce quality. *Journal of Electronic Commerce Research* 3(3), 114–127.
- Bichler, M. e A. Segev (2001). Methodologies for the design of negotiation protocols on e-markets. *Computer Networks* 37, 137–152.
- Bobrowski, S. M. (1995). *Dominando O Oracle7*. São Paulo: Makron Books.

- Cecchet, E., A. Chanda, S. Elnikety, J. Marguerite, e W. Zwaenepoel (2002). A comparison of software architectures for e-business applications. Relatório Técnico TR02-389, Rice University.
- Congresso Nacional (2002a). Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002.
- Congresso Nacional (2002b). Lei nº 10.604, de 17 de dezembro de 2002.
- Contreras, J., O. Candiles, J. I. Fuente, e T. Gómez (2001). Auction design in day-ahead electricity markets (republished). *IEEE Transactions on power systems* 16(3), 409–417.
- Contreras, J., A. Losi, e M. Russo (2001). A Java/Matlab simulator for power exchange markets. Em *22nd IEEE Power Engineering Society International Conference on Power Industry Computer Applications*, Sydney, Australia, pp. 106–111.
- Dekrajangpetch, S. e G. B. Sheblé (2000). Structures and formulations for electric power auctions. *Electric Power Systems Research* 54, 159–167.
- EEX (2002a). *EEX Derivates Market Concept*. European Energy Exchange.
- EEX (2002b). *EEX Spot Market Concept*. European Energy Exchange.
- EEX (2004). European Energy Exchange. Disponível em <http://www.eex.de/>. Acesso em 4 de março de 2004.
- EJB (2004). Enterprise JavaBeans technology. Disponível em <http://java.sun.com/products/ejb/>. Acesso em 4 de março de 2004.
- ESIP (2001). ESIP federation e-commerce gateway - phase I and II documentation - DRAFT. [http://www.terraindata.com/developWWW/esipdoc/esip\\_ecom\\_files/esipdoc.jsp](http://www.terraindata.com/developWWW/esipdoc/esip_ecom_files/esipdoc.jsp). Acesso em 4 de março de 2004.
- Eso, M. (2001). An interactive online auction for airline seats. IBM Research Center.
- Ethier, R., R. Zimmerman, T. Mount, W. Schulze, e R. Thomas (1999). A uniform price auction with locational price adjustments for competitive electricity markets. *Electrical Power and Energy Systems* 21, 103–110.
- Fabra, N., N. H. von der Fehr, e D. Harbord (2002). Modeling electricity auctions. *The Electricity Journal* 15(7), 72–81.
- Goodrich, M. T. e R. Tamassia (2001). *Data Structures and Algorithms in Java (2nd Ed.)*. New York: John Wiley.
- Hall, M. (2000). *Core Servlets and JavaServer Pages*. Prentice Hall PTR.
- Hudson, R. (2000). Analysis of uniform and discriminatory price auctions in restructured electricity markets. Relatório técnico, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN.

- IDFC (1998). Power sector reform in Argentina: A summary description. Relatório técnico, Policy Advisory Group of Infrastructure Development Finance Company Ltd.
- ISONE (2004). ISO New England. Disponível em <http://www.iso-ne.com/>. Acesso em 4 de março de 2004.
- Kahn, A. E., P. C. Cramton, R. H. Porter, e R. D. Tabors (2001, Janeiro). Pricing in the California Power Exchange Electricity Market: Should California switch from uniform pricing to pay-as-bid pricing? Relatório técnico, Maryland University. Blue Ribbon Panel Report, California Power Exchange.
- Klemperer, P. (1999, Maio). Auction theory: A guide to the literature. *Journal of economic surveys* 13(3), 227–286.
- Klemperer, P. (2000, Agosto). Why every economist should learn some auction theory. Em *World Congress of the Econometric Society*, Seattle.
- Krishna, V. (2002). *Auction Theory*. Academic Press.
- Kumar, M. e S. I. Feldman (1998). Internet auctions. Em *Third USENIX Workshop on Electronic Commerce*, Boston, MA, USA, pp. 49–60.
- Law, A. M. e W. D. Kelton (1982). *Simulation Modeling and Analysis*. United States of America: McGraw-Hill, Inc.
- Lindo (1995). *Lingo: The Modeling Language and Optimizer*. Chicago, IL: Lindo Systems Inc.
- MAE (2002a). Edital de leilão nº 001/2002. Disponível em <http://www.leiloesdomae.com.br/>. Acesso em 4 de março de 2004.
- MAE (2002b). Manual de operação do proponente comprador para o leilão de energia. Disponível em <http://www.leiloesdomae.com.br/>. Acesso em 4 de março de 2004.
- MAE (2002c). Manual de operação do vendedor para o leilão de energia. Disponível em <http://www.leiloesdomae.com.br/>. Acesso em 4 de março de 2004.
- MAE (2003a). Edital de leilão de excedentes nº001/2003. Disponível em <http://www.leiloesdomae.com.br/>. Acesso em 4 de março de 2004.
- MAE (2003b). Edital de leilão nº001/2003. Disponível em <http://www.leiloesdomae.com.br/>. Acesso em 4 de março de 2004.
- MAE (2004). Mercado atacadista de energia elétrica. Disponível em <http://www.mae.org.br/>. Acesso em 4 de março de 2004.
- Makkonen, S. e R. Lahdelma (2001). Analysis of power pools in the deregulated energy market through simulation. *Decision Support Systems* 30, 289–301.

- Marmioli, M., Y. Tsukamoto, e K. Iba (1999). Influence of auction rules on short-term generation scheduling. Em *Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Summer Meeting*, pp. 658–663.
- MME (2003). Modelo institucional do setor elétrico.
- Munhoz, F. C. (2004). Metodologia e software para fixação de lances em leilões de energia elétrica. Dissertação de mestrado, Unicamp, Campinas - Brasil.
- MySQL (2004). MySQL. Disponível em <http://www.mysql.com/>. Acesso em 4 de março de 2004.
- NEPOOL (2002). FERC electric rate schedule nº6: Market rules and procedures. Disponível em <http://www.iso-ne.com/mrp/main.html>. Acesso em 4 de março de 2004.
- NetBeans (2004). NetBeans. Disponível em <http://www.netbeans.org>. Acesso em 4 de março de 2004.
- Netcraft (2004). Netcraft web server survey. Disponível em <http://www.netcraft.com/Survey/Reports/current/graphs.html>. Acesso em 4 de março de 2004.
- NordPool (2004). The Nordic power exchange. Disponível em <http://www.nordpool.no/>. Acesso em 4 de março de 2004.
- OFGEM (2004). Office of Gas and Electricity Markets. Disponível em <http://www.ofgem.gov.uk/>. Acesso em 4 de março de 2004.
- OMEL (2004). Compañía Operadora del Mercado Español de Electricidad. Disponível em <http://www.omel.es/>. Acesso em 4 de março de 2004.
- Otero-Novas, I., C. M. Velasco, C. B. López, e J. J. Alba (2000). A simulation model for a competitive generation market. *IEEE Transactions on power systems* 15(1), 250–256.
- Perrig, A., S. Smith, D. Song, e J. D. Tygar (2001). SAM: A flexible and secure auction architecture using trusted hardware. Em *First International Workshop on Internet Computing and E-Commerce*, San Francisco, CA, USA.
- Pickle, S. e R. Wiser (1998). The regulation of the California power sector: Case study. Relatório técnico, The World Bank, Spain.
- PJM (2002). State of the market report 2001. Relatório técnico, PJM Interconnection.
- PJM (2004). PJM Interconnection, L. L. C. Disponível em <http://www.pjm.com/>. Acesso em 4 de março de 2004.
- Reticular (1999). Using intelligent agents to implement an electronic auction for buying and selling electric power. Reticular Systems Inc. White Paper.

- Reynolds, K. (2001). Going, going, gone! A survey of auction types. Disponível em <http://www.agorics.com/Library/auctions.html>. Acesso em 4 de março de 2004.
- RPPI (2002). Privatization 2002: Putting pieces together. Relatório Técnico 16th Annual Report on Privatization, Reason Public Policy Institute.
- Shannon, R. E. (1975). *Systems Simulation: The Art and Science*. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, Inc.
- Sheblé, G. B. e J. Kumar (1998). Auction market simulator for price based operation. *IEEE Transactions on Power Systems* 13(1), 250–255.
- Sheblé, G. B. (1999). *Computational Auction Mechanisms for Restructured Power Industry Operation*. Massachusetts, USA: Kluwer Academic Publishers.
- Silva, A. J. (2003). Leilões de certificado de energia elétrica: Máximo excedente versus máxima quantidade negociada. Dissertação de mestrado, Unicamp, Campinas - Brasil.
- Skytte, K. (1999a). Market imperfections on the power markets in northern Europe: A survey paper. *Energy Policy* 27, 25–32.
- Skytte, K. (1999b). The regulating power market on the Nordic power exchange Nord Pool: An econometric analysis. *Energy Economics* 21, 295–308.
- Stavros, P., G. Samaras, e E. Pitoura (2000). Mobile agents for World Wide Web distributed database access. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering* 12(5), 802–820.
- Tomcat (2004). The Jakarta project. Disponível em <http://jakarta.apache.org/tomcat/>. Acesso em 4 de março de 2004.
- Vickrey, W. (1961). Counterspeculation, auctions, and competitive sealed-tenders. *Journal of finance* 16, 8–37.
- Wolfram, C. D. (1999). Electricity markets: Should the rest of the world adopt the UK reforms? Relatório Técnico PWP-069, University of California Energy Institute, Berkeley, CA.
- Wolfstetter, E. (1999). *Topics in Microeconomics. Industrial Organization, Auctions, and Incentives*. Cambridge University Press.
- Wurman, P. R., W. E. Walsh, e M. P. Wellman (1998). Flexible double auctions for electronic commerce: Theory and implementation. University of Michigan.
- Wurman, P. R., M. P. Wellman, W. E. Walsh, e K. A. O'Malley (1999). Control architecture for a flexible internet auction. Em *First IAC Workshop on Internet Based Negotiation Technologies*.

- Wurman, P. R., M. P. Wellman, e W. E. Walsh (1998). The Michigan internet AuctionBot: A configurable auction server for human and software agents. Em *Proceedings of the Second International Conference on Autonomous Agents*, Minneapolis, MN, USA.
- Zimmerman, R. D., J. C. Bernard, R. J. Thomas, e W. Schulze (1999). Energy auctions and market power: An experimental examination. Em *Proceedings of the 32nd Annual Hawaii International Conference on System Sciences*. IEEE Computer Society.
- Zimmerman, R. D., R. J. Thomas, D. Gan, e C. M. Sánchez (1998). An internet-based platform for testing generation scheduling auctions. Em *Proceedings of the 31th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, pp. 138–146. IEEE Computer Society.